

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

UDK 692.5(075.8)

Va-197

Juozas Valivonis, Arnoldas Šneideris

GELŽBETONINĖS SIJINĖS MONOLITINĖS PERDANGOS

Mokomoji knyga

Juozas Valivonis, Arnoldas Šneideris. Gelžbetoninės sijinės monolitinės perdangos. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2007. 134 p.

Leidinyje aprašyta gelžbetoninių monolitinių sijinių perdangų plokščių, šalutinių ir pagrindinių sijų projektavimo metodika. Pateiktos ir paaiškintos šių konstrukcijų apkrovų, įrašų ir armatūros skaičiavimo formulės. Knygoje yra parodyti monolitinės sijinės perdangos elementų skaičiavimo algoritmai. Pateiktos skaičiavimams atlikti reikalingos lentelės. Aprašyti monolitinių perdangų konstravimo reikalavimai. Kiekviename skyriuje pateikta projektavimo pavyzdžių.

Mokomoji knyga skirta statybos pakraipos specialybių studentams.

Leidinį rekomendavo VGTU statybos fakulteto studijų komitetas.

Recenzavo: prof. habil. dr. Gintaris Kaklauskas
doc. dr. Bronius Jonaitis

VGTU leidyklos „Technika“ 939 mokomosios
metodinės literatūros knyga

ISBN 978-9955-28-110-8

© J. Valivonis, A. Šneideris, 2007
© VGTU leidykla „Technika“, 2007


Vilnius TECHNICA 2007

TURINYS

Ivadas.....	4
1. Elementų parinkimas ir išdėstymas	5
2. Plokštės projektavimas	9
2.1. Apkrovos	9
2.2. Efektų (įrašų) apskaičiavimas.....	12
2.3. Plokštės storio ir armatūros skerspjūvio ploto apskaičiavimas.....	16
2.4. Plokštės konstravimas.....	24
3. Šalutinės sijos projektavimas.....	31
3.1. Apkrovos	31
3.2. Įrašų skaičiavimas	31
3.3. Sijos skerspjūvio matmenų skaičiavimas	39
3.4. Išilginės pagrindinės armatūros skaičiavimas.....	42
3.5. Skersinės armatūros skaičiavimas	51
3.6. Sijų laikomosios galios gaubtinės sudarymas.....	60
3.7. Sijos konstravimas	67
4. Pagrindinės sijos projektavimas	70
4.1. Apkrovos	70
4.2. Įrašų skaičiavimas	71
4.3. Armatūros skaičiavimo principai.....	77
Priedai.....	103

IVADAS

Ši knyga skirta statybos specialybės studentams gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų disciplinos kursiniam projektui atlikti. Ji gali būti naudinga ir kitų specialybių studentams.

Remiantis metodiniais nurodymais lengviau atlikti skaičiavimus bei konstruoti sijines monolitines gelžbetonines perdangas ir šalutines sijas.

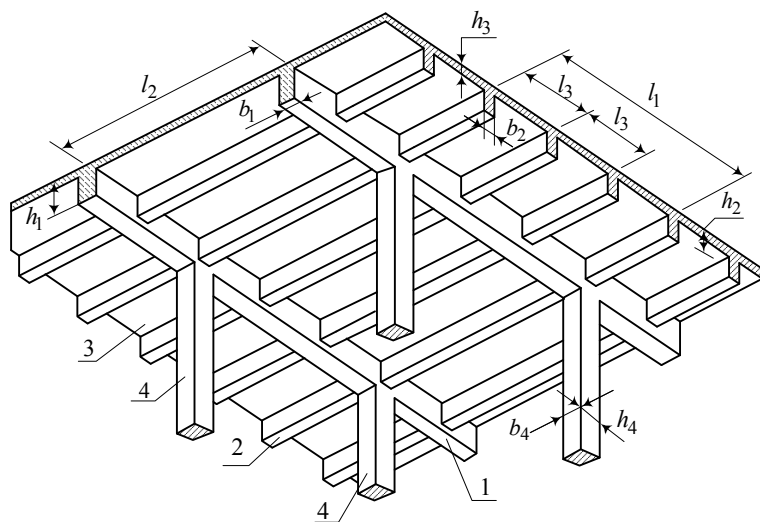
Knygoje paaiškinta skaičiavimų atlikimo tvarka, pateikti skaičiavimų algoritmai, išdėstyti visų pagrindinių projektuojamų konstrukcijų variantų konstravimo reikalavimai, pateikta skaičiavimų pavyzdžių.

Prieduose sukaupta papildoma medžiaga, kuri reikalinga skaičiavimams atlikti ir projektui sudaryti.

1. ELEMENTŲ PARINKIMAS IR IŠDĖSTYMAS

Sijinė monolitinė perdanga susideda iš pagrindinių, šalutinių sijų, kurios išdėstytos statmenomis tarpusavyje kryptimis, ir perdangos plokštės sumonolitintos su sijomis.

Perdangos plokštė (3) remiasi į šalutines sijas (2), kurios yra atremtos į pagrindines sijas (1), o šios į kolonas (4) ir išorines sienas (1 pav.).



1 pav. Bendrasis perdangos vaizdas: 1 – pagrindinė sija; 2 – šalutinė sija; 3 – perdangos plokštė; 4 – kolona

Kraštinės pastato ašys sutampa su išorinių sienų vidiniu paviršiumi (nulinis pažymėjimas) arba yra patrauktos sienos vidurio link atstumu, kuris kartotinas kas 100 mm (100, 200, 300 mm).

Vidurinės pastato ašys sutampa su kolonų centrais. Taigi pastato ilgio ir pločio matmenis reikia suprasti kaip atstumus tarp kraštinių pastato ašių ir koreguoti atsižvelgiant į sienų pažymėjimo būdą.

Atstumus tarp kolonų bei sijų reikia parinkti tokius, kad ekvivalentinis sijinės perdangos storis būtų kuo mažesnis. Todėl reikėtų laikytis tam tikrų konstravimo rekomendacijų.

Pramoninių pastatų pagrindinės sijos visada išdėstytos išilgine pastato kryptimi, o civilinių – skersai pastato. Pagrindinių sijų ilgis l_1 lygus atstumui tarp kolonų jų išdėstymo kryptimi. Racionalus ilgis $l_1 = 5-7$ m.

Šalutinių sijų ilgis l_2 lygus atstumui tarp pagrindinių sijų arba atstumui tarp kolonų šalutinių sijų išdėstymo kryptimi. Racionalus ilgis $l_2 = 6-12$ m.

Atstumas tarp šalutinių sijų, taip pat ir monolitinės plokštės tarpatrio ilgis l_3 priklauso nuo plokštės storio ir apkrovos.

Parinkant atstumą l_3 tarp šalutinių sijų (perdangos plokštės tarpatrio) reikia stengtis, kad plokštės storis būtų minimalus. Paprastai monolitinės perdangos plokštės storis yra 60–100 mm. Mažiausias monolitinės perdangos plokštės storis yra 60 mm civiliniams ir 70 mm – pramoniniams pastatams. Racionalūs atstumai tarp šalutinių sijų – 1,7–2,7 m. Rekomenduojamus plokštės storius ir juos atitinkančius atstumus tarp šalutinių sijų, atsižvelgiant į suminę plokštės apkrovą p (kPa), galima parinkti pagal 2 priedą.

Sijinės monolitinės perdangos šalutinių sijų ilgis turi būti tris ir daugiau kartų didesnis už atstumą tarp tų sijų, t. y. $l_2/l_3 \geq 3$.

Visų tarpatrių (l_1 , l_2 ir l_3) ilgiai turi būti vienodi, išskyrus kraštinius plokščių (l_3) ir sijų (l_1 , l_2) tarpatrius, kurie gali būti mažesni (10 % – plokštei ir 20 % – sijoms) negu viduriniai tarpatriai. Tokiu atveju lenkimo momentai ir skersinės jėgos kraštinių tarpatrių elementuose yra artimos vidurinių tarpatrių įrašoms.

Šalutinių sijų skerspjūvio aukštis $h_2 = \left(\frac{1}{12} \dots \frac{1}{20}\right) l_2$ priklauso

nuo suminės apkrovos dydžio (kuo mažesnė apkrova, tuo didesnis santykis). Atsižvelgiant į sijų aukštį, šalutinių sijų skerspjūvio plotis $b_2 = (0,4-0,5) h_2$.

2. PLOKŠTĖS PROJEKTAVIMAS

2.1. Apkrovos

Perdangos plokštės apkrovos:

- nuolatinė apkrova, kurią sudaro plokštės savasis svoris ir grindų konstrukcijos svoris;
- kintamosios apkrovos (tai plokštę veikianti naudojimo apkrova).

Plokštės savojo svorio apkrova yra skaičiuojama atsižvelgiant į preliminarai parinktą plokštės storį h_3 ir gelžbetonio vienetinį svorį (1 priedas).

Grindų konstrukcijos apkrova yra apskaičiuojama atsižvelgiant į grindų tipą pagal kursinio darbo užduotį.

Pagrindinių statybinių medžiagų, naudojamų grindų konstrukcijai atlikti, vienetiniai svoriai pateikti 1 priede.

Naudojimo apkrovos nurodomos kursinio darbo užduotyje arba parenkamos iš statybos techninio reglamento STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“ [1]. Nuolatinių apkrovų charakteristinės reikšmės skaičiuojamos dauginant konstrukcijos sluoksnio storį (t) iš medžiagos vienetinio svorio (γ). Skaičiuotinės apkrovų reikšmės nustatomos apkrovų charakteristines reikšmes padauginus iš apkrovos dalinio patikimumo koeficiento $\gamma_{G,j}$:

$$g_d = g_k \cdot \gamma_{G,j} \quad (4)$$

Apkrovos patikimumo koeficiento $\gamma_{G,j}$ reikšmės pateiktos 3 priede.

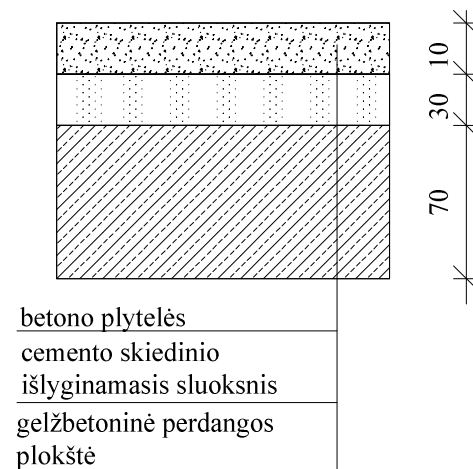
Analogiškai nustatoma ir kintamosios apkrovos skaičiuotinė reikšmė:

$$q_d = q_k \cdot \gamma_{Q,j}, \quad (5)$$

čia $\gamma_{Q,j}$ – kintamosios apkrovos patikimumo koeficientas ($\gamma_{Q,j} = 1,3$).

Pavyzdys

Reikia apskaičiuoti pramoninio pastato monolitinės sijinės perdangos plokštę veikiančias apkrovas. Virš perdangos yra akmenų masės plytelių grindys. Plytelių storis $t_1 = 10$ mm. Tarp gelžbetoninės plokštės ir grindų plytelių yra $t_2 = 30$ mm storio cemento skiedinio išlyginamasis sluoksnis. Perdangos plokštės storis $t_3 = 70$ mm. Perdangą veikia $q_k = 5,0$ kPa dydžio naudojimo apkrova.



Grindų plytelių, cemento išlyginamojo sluoksnio ir perdangų plokštės sukeliamų apkrovų charakteristinės reikšmės yra apskaičiuojamos:

$$g_{1k} = t_1 \cdot \gamma_1 \cdot g = 0,01 \cdot 2\,450 \cdot 9,81 = 240,3 \text{ N/m}^2 = 0,240 \text{ kPa};$$

$$g_{2k} = t_2 \cdot \gamma_2 \cdot g = 0,030 \cdot 2\,000 \cdot 9,81 = 589 \text{ N/m}^2 = 0,589 \text{ kPa};$$

$$g_{3k} = t_3 \cdot \gamma_3 \cdot g = 0,07 \cdot 2\,500 \cdot 9,81 = 1\,717 \text{ N/m}^2 = 1,72 \text{ kPa},$$

čia t_1 , t_2 , t_3 – sluoksnių storiai (pagal užduotį); γ_1 , γ_2 , γ_3 – grindų, išlyginamojo sluoksnio ir perdangos plokštės medžiagų vienetinės masės; g – laisvojo kritimo pagreitis.

Apkrovų skaičiuotinės reikšmės:

$$g_{1d} = g_{1k} \cdot \gamma_{G,1} = 0,240 \cdot 1,35 = 0,324 \text{ kPa};$$

$$g_{2d} = g_{2k} \cdot \gamma_{G,2} = 0,589 \cdot 1,35 = 0,795 \text{ kPa};$$

$$g_{3d} = g_{3k} \cdot \gamma_{G,3} = 1,72 \cdot 1,35 = 2,32 \text{ kPa},$$

čia $\gamma_{G,j}$ – apkrovos patikimumo koeficientai (3 priedas).

Visa nuolatinė apkrova:

$$g_k = g_{1k} + g_{2k} + g_{3k} = 0,240 + 0,589 + 1,72 = 2,55 \text{ kPa};$$

$$g_d = g_{1d} + g_{2d} + g_{3d} = 0,324 + 0,795 + 2,32 = 3,44 \text{ kPa}.$$

Kintamosios (naudojimo) apkrovos charakteristinė reikšmė (iš užduoties)

$$q_k = 5,0 \text{ kPa}.$$

Kintamosios (naudojimo) apkrovos skaičiuotinė reikšmė

$$q_d = q_k \cdot \gamma_{Q,j} = 5,0 \cdot 1,3 = 6,5 \text{ kPa},$$

čia apkrovos patikimumo koeficientas $\gamma_{Q,j}$ iš 3 priedo.

Visa perdangos plokštę veikianti apkrova:

$$p_k = g_k + q_k = 2,55 + 5,0 = 7,55 \text{ kPa};$$

$$p_d = g_d + q_d = 3,44 + 6,50 = 9,94 \text{ kPa}.$$

Apkrovų skaičiavimo rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Perdangos plokštės apkrovos

Eil. Nr.	Apkrovos pavadinimas	Charakteristinė apkrova, kPa	Apkrovos patikimumo koef. γ_f	Skaičiuotinė apkrova, kPa
<u>Nuolatinė apkrova</u>				
1.	Akmens masės plytelių grindys	0,240	1,35	0,324
2.	Cemento išlyginamasis sluoksnis	0,589	1,35	0,795
3.	Gelžbetoninė perdangos plokštė	1,72	1,35	2,32
Visa nuolatinė apkrova		2,55		3,44
<u>Kintamoji apkrova</u>				
	Naudotinė apkrova	5,0	1,3	6,5
Visa perdangos plokštę veikianti apkrova		7,55		9,94

2.2. Efektų (įrašų) apskaičiavimas

Plokštę veikiančioms įrašoms ir jos stipriui apskaičiuoti imamas 1 m pločio šalutinėms sijoms statmenas ruožas, einantis per visą pastato plotį (ilgį) (2 pav.). Plokštės skaičiuojamoji schema yra daugiaangė nekarpytoji sija, kuri apkrauta tolygiai paskirstyta apkrova (3 pav., b). Tokios sijos 1 m' apkrova, pateikta skaitine reikšme, lygi plokštės 1 m² apkrovai.

Visuose, išskyrus kraštinius, tarpatramiuose plokštės skaičiuotinis ilgis l_{pi} imamas lygus atstumui tarp dviejų gretimų šalutinės sijos šonų

$$l_{pi} = l_3 - b_2. \quad (6)$$

Jeigu kraštiniame tarpatramyje plokštė vienu galu laisvai remiasi į mūro sieną, tai jos skaičiuotinis ilgis šiame tarpatramyje lygus atstumui nuo atramos centro iki pirmos šalutinės sijos šono (3 pav., a). Monolitinės plokštės atramos ant mūro sienos plotis c paprastai imamas lygus plytos pločiui, t. y. 120 mm.

$$l_{p1} = l_3 - \frac{b_2}{2} + \frac{c}{2} - a. \quad (7)$$

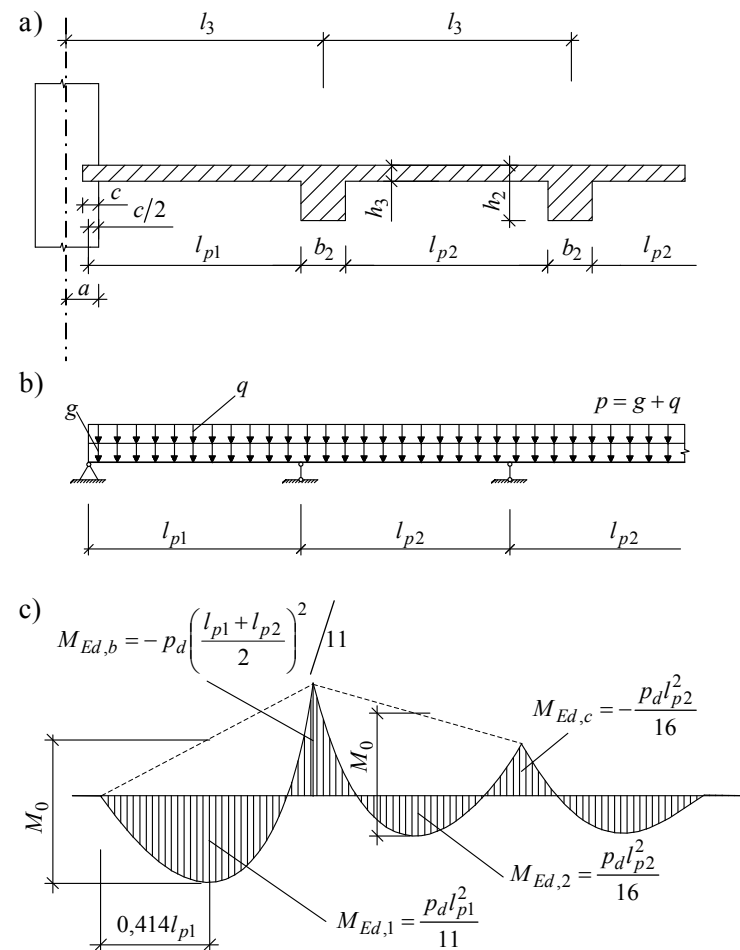
Plokščių, kurių tarpatramių ilgiai yra vienodi arba skiriasi ne daugiau kaip 20 %, lenkimo momentai apskaičiuojami ribinės pusiausvyros metodu, įvertinant įrąžų persiskirstymą dėl plastinių deformacijų, atsirandančių gelžbetoninės konstrukcijos suirimo metu. Momentai skaičiuojami keturiuose būdinguose pjūviuose: pirmajame ir antrajame tarpatramyje $M_{Ed,1}$ ir $M_{Ed,2}$ bei ties antrąja ir trečiąja atrama $M_{Ed,b}$ ir $M_{Ed,c}$. Įvertiname įrąžų persiskirstymą:

$$M_{Ed,1} = \frac{p_d \cdot l_{p1}^2}{11} = 0,091 \cdot p_d \cdot l_{p1}^2; \quad (8)$$

$$M_{Ed,2} = \frac{p_d \cdot l_{p2}^2}{16} = 0,0625 \cdot p_d \cdot l_{p2}^2; \quad (9)$$

$$M_{Ed,b} = \frac{p_d \left(\frac{l_{p1} + l_{p2}}{2} \right)^2}{11} = -0,091 \cdot p_d \left(\frac{l_{p1} + l_{p2}}{2} \right)^2; \quad (10)$$

$$M_{Ed,c} = -\frac{p_d \cdot l_{p2}^2}{16} = 0,0625 \cdot p_d \cdot l_{p2}^2. \quad (11)$$



3 pav. Monolitinės gelžbetoninės perdangos plokštės tarpatramių ilgių skaičiuotinė schema (a), skaičiuotinė schema (b), momentų diagramos (c)

Kituose tarpatramiuose, išskyrus paskutinįjį, įrąžos ne daug skiriasi nuo antrojo tarpatramio įrąžų, todėl

$$M_{Ed,3} = M_{Ed,4} = \dots = M_{Ed,2}; \quad (12)$$

$$M_{Ed,d} = M_{Ed,f} = \dots = M_{Ed,c}. \quad (13)$$

Viduriniuose tarpatramiuose ir atramose monolitinė plokštė visu kontūru standžiai sujungta su šalutinėmis bei pagrindinėmis sijomis. Dėl šios priežasties plokštėse atsiranda suspaudimo jėgos, kurios pagerina konstrukcijos darbo sąlygas ir maždaug 20 % sumažina veikiančias įrašas. Todėl lenkimo momentų reikšmės, nustatomos pagal (12) ir (13) formules, galima sumažinti padauginus iš koeficiento 0,8.

Paprastai plokščių įstrižųjų pjūvių stiprumas yra pakankamas dėl didelio jų skerspjūvio pločio. Stiprumo sąlyga tikrinama pagal didžiausią skersinę jėgą, kuri atsiranda pirmosios tarpinės atramos (B) kairėje pusėje

$$V_{Ed,b,left} = 0,6 p_d \cdot l_{p1}. \quad (14)$$

Pavyzdys

Sijinę perdangos plokštę veikiančios apkrovos skaičiuotinė reikšmė $p_d = 9,94$ kPa. Perdangos pjūvis ir plokštės skaičiuojamoji schema parodyta 3 pav. Atstumas tarp šalutinių sijų ašių $l_3 = 2,0$ m. Kraštinė plokštė vienu kraštu remiasi į mūro sieną. Atrėmimo zonos ilgis $c = 120$ mm. Šalutinės sijos skerspjūvio plotis $b_2 = 200$ mm.

Reikia apskaičiuoti perdangos plokštės įrašas. Apskaičiuojamos 1 m' pločio plokštės ruožo, statmeno šalutinių sijų ašims, įrašas.

Apskaičiuojami plokštės skaičiuotiniai ilgiai (3 pav., b):

$$l_{p1} = l_3 - \frac{b_2}{2} + \frac{c}{3} - a = 2,0 - \frac{0,2}{2} + \frac{0,12}{3} - 0,2 = 1,74 \text{ m};$$

$$l_{p2} = l_{p3} = l_3 - b_2 = 2,0 - 0,2 = 1,8 \text{ m}.$$

Pavojingiausiuose pjūviuose (1, 2, B, C) lenkimo momentai apskaičiuojami pagal (8)–(11) formules:

$$M_{Ed,1} = 0,091 \cdot 9,94 \cdot 1,74^2 = 2,74 \text{ kN}\cdot\text{m};$$

$$M_{Ed,2} = 0,0625 \cdot 9,94 \cdot 1,8^2 = 2,01 \text{ kN}\cdot\text{m};$$

$$M_{Ed,b} = -0,091 \cdot 9,94 \cdot \left(\frac{1,74 + 1,8}{2} \right)^2 = -2,83 \text{ kN}\cdot\text{m};$$

$$M_{Ed,c} = -0,0625 \cdot 9,94 \cdot 1,8^2 = -2,01 \text{ kN}\cdot\text{m}.$$

Lenkimo momentų pasiskirstymas plokštėje pavaizduotas 3 pav. Apskaičiuojama didžiausia plokštės skersinė jėga:

$$V_{Ed,b,left} = 0,6 \cdot 9,94 \cdot 1,74 = 10,38 \text{ kN}.$$

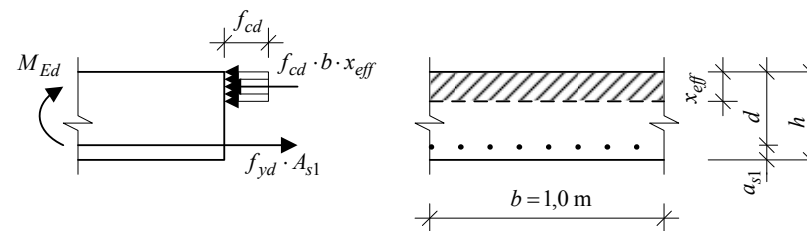
2.3. Plokštės storio ir armatūros skerspjūvio ploto apskaičiavimas

Reikiamas plokštės pagrindinės armatūros kiekis skaičiuojamas kaip lenkiamojo vienpusiai armuoto stačiakampio skerspjūvio elemento, kurio plotis $b = 1,0$ m, o aukštis h lygus plokštės storiui (4 pav.).

Tokio elemento gniuždomosios zonos aukštis x_{eff} ir stipris apskaičiuojamas iš išorinių ir vidinių jėgų pusiausvyros lygčių:

$$f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} = f_{yd} \cdot A_{s1}; \quad (15)$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} \cdot (d - 0,5 \cdot x_{eff}). \quad (16)$$



4 pav. Vienpusiai armuoto lenkiamojo elemento skaičiuotinis įtempių būvis normaliniame pjūvyje

Elemento irimo metu santykinis betono gniuždomosios zonos aukštis turi atitikti šią sąlygą:

$$\xi_{eff} = \frac{x_{eff}}{d} \leq \xi_{lim}, \quad (17)$$

čia ξ_{lim} – santykinio gniuždomosios zonos aukščio ribinė reikšmė. Jos didumas priklauso nuo betono ir armatūros rūšies, klasės, apkrovos trukmės ir nustatomas pagal formulę:

$$\xi_{lim} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s,lim}}{\sigma_{sc,lim}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)}; \quad (18)$$

$$\omega = \alpha - \beta f_{cd}, \quad (19)$$

čia ω – gniuždomosios zonos betono deformacinių savybių charakteristika; α ir β – koeficientai, kuriais apibūdinama tam tikra betono rūšis ir jo deformacinės savybės. Kai betonas sunkusis, $\alpha = 0,85$, $\beta = 0,008$.

Neįtemptojo gelžbetonio elemento tempiamosios armatūros įtempiai $\sigma_{s,lim} = f_{yd}$, gniuždomosios armatūros ribiniai įtempiai $\sigma_{sc,lim} = \varepsilon_{sc,lim} \cdot E_s \approx 500 \text{ MPa}$.

Plokštės storio apskaičiavimas

Plokštės storį, kuris buvo parinktas vadovaujantis konstravimo reikalavimais, reikia patikslinti atsižvelgiant į veikiančias įrašas. Todėl formulė (16) užrašoma patogesne forma

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = \mu_{Ed,s} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2, \quad (20)$$

čia

$$\mu_{Ed,s} = \xi_{eff} \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi_{eff}). \quad (21)$$

Imant $b = 1,0 \text{ m}$ ir $M_{Rd} = M_{Ed,max} = M_{Ed,1}$, aukštis

$$d = \sqrt{\frac{M_{Ed,max}}{\mu_{Ed,s} \cdot f_{cd}}}. \quad (22)$$

Šiuo atveju dydžio $\mu_{Ed,s}$ reikšmė apskaičiuojama pagal formulę (21) pasirinkus optimalų santykinį gniuždomosios zonos dydį $\xi_{eff} = 0,1 \dots 0,2$.

Plokštės storis (skerspjūvio aukštis) h nustatomas pagal formulę

$$h = d + a_{s1} = d + c + \frac{\varnothing}{2}, \quad (23)$$

čia c – apsauginio betono sluoksnio storis, kuris turi būti ne mažesnis negu armatūros strypo skersmuo \varnothing ir ne mažesnis už 20 mm.

Galutinis plokštės storis parenkamas kartotinis kas 10 mm, bet ne mažesnis kaip 70 mm – pramoniniams ir 60 mm – civiliniams pastatams.

Kadangi plokštė neturi skersinės armatūros, įstriži plyšiai jos atraminiuose ruožuose yra neleistini, priešingu atveju plokštė suirs veikiamo skersinės jėgos. Todėl reikia patikrinti, ar plokštės storis yra pakankamas, kad ją galėtų veikti maksimali skersinė jėga. Įstrižojo pjūvio stiprio sąlyga yra tokia:

$$V_{Ed,max} = V_{Ed,b,left} \leq V_{Rds} = 0,3 f_{ctd} \cdot b \cdot d, \quad (24)$$

čia f_{ctd} – tempiamojo betono stipris; d – naudingasis plokštės skerspjūvio aukštis, patikslintas apskaičiavus jos storį h ; $b = 1,0 \text{ m}$.

Jeigu sąlyga (24) netinka, reikia padidinti plokštės skerspjūvio aukštį (storį).

Armatūros kiekis apskaičiuojamas taip:

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff}}{f_{yd}} = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot \xi_{eff} \cdot d}{f_{yd}} \geq b \cdot d \cdot \rho_{min}, \quad (25)$$

čia ρ_{min} – minimalus armavimo koeficientas ($\rho_{min} = 0,0005$) [2].

Santykiniis gniuždomosios zonos aukštis apskaičiuojamas pagal šią formulę

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Ed,s}} \quad (26)$$

Gniuždomosios zonos aukštį apibūdinantis dydis $\mu_{Ed,s}$ apskaičiuojamas taip:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} \quad (27)$$

čia M_{Ed} – skaičiuotinės apkrovos sukeltas lenkimo momentas, veikiantis nagrinėjamame pjūvyje (2.2 skyrius).

Žinant reikiamą armatūros skerspjūvio plotą $1 \text{ m}'$ pločio plokštės ruože A_{s1} (armavimo intensyvumą), parenkamas strypų skersmuo \emptyset bei vieno strypo skerspjūvio plotas A_{si} ir apskaičiuojamas jų išdėstymo žingsnis

$$s = \frac{100 \cdot A_{si}}{A_{s1}} \quad (28)$$

Viename tiesiniame plokštės pločio ruože išdėstomas sveikasis strypų skaičius, bet ne mažesnis kaip penki darbo armatūros strypai.

Armatūros kiekis nustatomas kiekviename būdingajame plokštės pjūvyje pagal veikiančius šiuose pjūviuose didžiausius momentus $M_{Ed,1}$, $M_{Ed,2}$, $M_{Ed,b}$. Vidurinių tarpatramių pjūviai armuojami pagal antrojo tarpatramio armavimo variantą.

Galutinis armatūros išdėstymas (s_{fact}) ir jos kiekio parinkimas ($A_{s1,fact}$) atliekamas vadovaujantis konstravimo reikalavimais. Galutinis armatūros kiekis $A_{s1,fact}$ gali skirtis nuo apskaičiuotojo $A_{s1} = \pm 5 \%$.

Plokštės storis yra racionalus, jeigu jos armavimo procentas $\rho \% = \frac{A_{s1,fact}}{b \cdot d} \cdot 100 \% = 0,4 \% - 0,7 \%$.

Pavyzdys

Sijinės perdangos plokštės didžiausias lenkimo momentas $M_{Ed,max} = +2,83 \text{ kN}\cdot\text{m}$, didžiausia skersinė jėga $V_{Ed,max} = 10,38 \text{ kN}$. Perdangos betonas – C16/20 klasės, todėl

$$f_{cd} = \alpha \cdot \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0,9 \cdot 1 \cdot 16 / 1,5 = 9,6 \text{ MPa};$$

$$f_{ctd} = \alpha \cdot \alpha_{ct} f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 1 \cdot 0,9 \cdot 1,3 / 1,5 = 0,780 \text{ MPa}.$$

Reikia apskaičiuoti perdangos plokštės skerspjūvio aukštį. Skaičiuotinė schema pavaizduota 4 pav.

Pasirenkame santykinį gniuždomosios zonos aukštį $\xi_{eff} = 0,15$.

Apskaičiuojame

$$\mu_{Ed,s} = \xi_{eff} \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi_{eff}) = 0,15(1 - 0,5 \cdot 0,15) = 0,138.$$

Naudingasis skerspjūvio aukštis

$$d = \sqrt{\frac{M_{Ed}}{\mu_{Ed,s} \cdot f_{cd}}} = \sqrt{\frac{2,83}{0,138 \cdot 9,6 \cdot 10^3}} = 0,0462 \text{ m}.$$

Viso skerspjūvio aukštis

$$h = d + c + \frac{\emptyset}{2} = 0,0462 + 0,02 + \frac{0,005}{2} = 0,0687 \text{ m}.$$

Parenkame plokštės skerspjūvio aukštį $h = 0,07 \text{ m} = 70 \text{ mm}$.

Todėl

$$d = 0,07 - 0,02 - \frac{0,005}{2} = 0,0475 \text{ m}.$$

Tikriname

$$V_{Ed,max} = 10,38 \text{ kN} < 0,3 \cdot f_{ctd} \cdot b \cdot d = 0,3 \cdot 0,780 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,0475 = 11,11 \text{ kN}.$$

Plokštės storis parinktas teisingai.

Pavyzdys

Sijinės perdangos plokštės lenkimo momentai (3 pav., c):

$$M_{Ed,1} = 2,74 \text{ kN}\cdot\text{m}; \quad M_{Ed,1} = 2,01 \text{ kN}\cdot\text{m};$$

$$M_{Ed,b} = -2,83 \text{ kN}\cdot\text{m}; \quad M_{Ed,c} = -2,01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Plokštės betonas – C16/20 klasės. $f_{cd} = 9,6 \text{ MPa}$. Plokštės storis $h_3 = 0,07 \text{ m}$. Plokštė armuojama S500 klasės vieline armatūra, $f_{yd} = 410 \text{ MPa}$.

Reikia apskaičiuoti reikiamą plokštės armatūros plotą ir ją išdėstyti atsižvelgiant į konstravimo taisyklių reikalavimus.

Atsižvelgdami į konstravimo taisyklių reikalavimus (2.4 skyrius), parenkame armatūros betoninio apsauginio sluoksnio storį $c = 20 \text{ mm}$ ir armatūros strypų skersmenį $\varnothing = 5 \text{ mm}$.

Plokštės skerspjūvio naudingasis aukštis

$$d = h_3 - c - \frac{\varnothing}{2} = 0,07 - 0,02 - \frac{0,005}{2} = 0,0475 \text{ m}.$$

Skaičiuotinė schema pavaizduota 4 pav.

Apskaičiuojame gniuždomosios zonos ribines charakteristikas

$$\omega = \alpha - \beta \cdot f_{cd} = 0,85 - 0,008 \cdot 9,6 = 0,773,$$

čia α ir β – koeficientai, priklausantys nuo betono rūšies. Konstruociniam betonui $\alpha = 0,85$; $\beta = 0,008$.

$$\xi_{\lim} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s,\lim}}{\sigma_{sc,\lim}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,773}{1 + \frac{410}{500} \left(1 - \frac{0,773}{1,1}\right)} = 0,621.$$

Apskaičiuojame kraštiniame tarpatramyje reikiamą armatūros plotą (armatūra skaičiuojama 1 m' pločio ruožui):

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed,1}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = \frac{2,74}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,0475^2} = 0,1265;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2\mu_{Ed,s}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1265} = 0,1357 < \xi_{\lim};$$

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot \xi_{eff} \cdot d}{f_{yd}} = \frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,1357 \cdot 0,0475}{410 \cdot 10^3} = 1,509 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 1,509 \text{ cm}^2;$$

$$\rho = \frac{A_{s1}}{bd} = \frac{1,509 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 0,0475} = 0,003176 > \rho_{\min} = 0,0005.$$

Antrajame tarpatramyje reikiama armatūra apskaičiuojama:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed,2}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = \frac{2,01}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,0475^2} = 0,0928;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2\mu_{Ed,s}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0928} = 0,0975 < \xi_{\lim};$$

$$A_{s1} = \frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,0975 \cdot 0,0475}{410 \cdot 10^3} = 1,084 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 1,084 \text{ cm}^2;$$

$$\rho = \frac{1,084 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 0,0475} = 0,00228 > \rho_{\min} = 0,0005.$$

Antrojoje nuo krašto atramoje reikiama armatūra apskaičiuojama:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed,b}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = \frac{2,83}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,0475^2} = 0,1306;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2\mu_{Ed,s}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1306} = 0,1405 < \xi_{\lim};$$

$$A_{s1} = \frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,1405 \cdot 0,0475}{410 \cdot 10^3} = 1,563 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 1,563 \text{ cm}^2;$$

$$\rho = \frac{1,563 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 0,0475} = 0,00329 > \rho_{\min} = 0,0005.$$

Trečiojoje ir kitose tarpinėse atramose reikiama armatūra apskaičiuojama:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed,c}}{f_{cd} \cdot b d^2} = \frac{2,01}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,0475^2} = 0,0928;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2\mu_{Ed,s}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0928} = 0,0975 < \xi_{lim};$$

$$A_{s1} = \frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 0,0975 \cdot 0,0475}{410 \cdot 10^3} = 1,084 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 1,084 \text{ cm}^2;$$

$$\rho = \frac{1,084 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 0,0475} = 0,00228 > \rho_{min}.$$

Plokštę armuojame atskiraisiais tinklais. Armatūros tinklų strypai išdėstomi pagal konstravimo taisyklės (2.4 skyrius). Tinklų pagrindinės armatūros strypų skersmuo – Ø 5 S500. Tinkle ji išdėstoma skersai šalutinių sijų ašies.

Apskaičiuojame pirmajame tarpatramyje armatūros tinklo T1 pagrindinės armatūros žingsnį

$$s = 100 \cdot A_{si} / A_{s1} = 100 \cdot 0,196 / 1,509 = 12,99 \text{ cm} = 130 \text{ mm}.$$

Pagrindinė armatūra Ø 5 S500 išdėstoma $s = 130 \text{ mm}$ žingsniu. Statmenai pagrindinei armatūrai (lygiagrečiai šalutinių sijų ašims) išdėstoma skirstomoji armatūra, kuri yra Ø3 S500. Skirstomąją armatūrą – $s = 300 \text{ mm}$ žingsniu. Armatūros tinklas T1 – 130/300/5/3 (6 pav., c).

Virš antrosios atramos (B) armatūros tinklo T3 pagrindinės armatūros žingsnis

$$s = 100 \cdot 0,196 / 1,563 = 12,53 \text{ cm} = 125 \text{ mm}.$$

Pagrindinė armatūra Ø5 S500 tinkle T3 išdėstoma $s = 125 \text{ mm}$ žingsniu. Skirstomoji armatūra Ø3 S500, $s = 300 \text{ mm}$. Armatūros tinklas T3 – 125/300/5/3 (6 pav., c).

Plokštės antrajame tarpatramyje armatūros tinklo T2 pagrindinės armatūros (statmenos šalutinių sijų ašiai) žingsnis

$$s = 100 \cdot 0,196 / 1,084 = 18,08 \text{ cm} = 180,8 \text{ mm}.$$

Pagrindinė armatūra Ø5 S500 tinkle T2 išdėstoma $s = 180 \text{ mm}$ žingsniu. Skirstomoji armatūra Ø3 S500, $s = 300 \text{ mm}$. Armatūros tinklas T2 – 180/300/5/3 (6 pav.).

Plokštės tarpinėse atramose tinklo T4 pagrindinės armatūros žingsnis

$$s = 100 \cdot 0,196 / 1,084 = 18,08 \text{ cm} = 180,8 \text{ mm}.$$

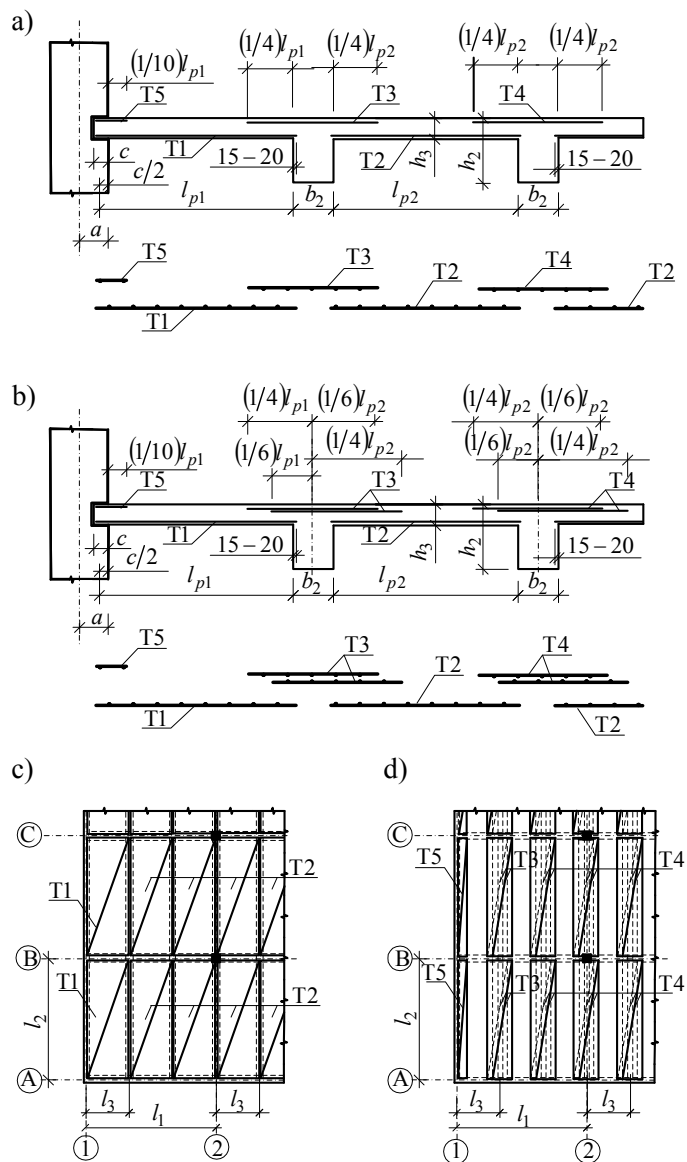
Pagrindinė armatūra Ø5 S500 išdėstoma $s = 180 \text{ mm}$ žingsniu. Skirstomoji armatūra Ø3 S500, $s = 300 \text{ mm}$. Armatūros tinklas T4 – 180/300/5/3 (6 pav.).

Tarpatramiuose armatūros tinklai T1 ir T2 išdėstomi skerspjuvio apačioje ir tęsiasi nuo vienos šalutinės sijos krašto iki kitos krašto. Virš atramų tinklai T3 ir T4 išdėstomi skerspjuvio viršuje. Jie pratęsiama nuo šalutinės sijos centro $\frac{1}{4}l$ tarpatramio vidurio link.

2.4. Plokštės konstravimas

Monolitinė plokštė gali būti armuojama atskiraisiais arba ištisiniais tinklais bei atskiraisiais armatūros strypais. Pagrindinė armatūra išdėstoma išilgai plokštės tarpatramio l_3 . Pagalbinė (skirstomoji) armatūra dedama statmenai pagrindinei armatūrai. Ji fiksuoja pagrindinės armatūros strypų projektinę padėtį, sumažina betono susitraukimo deformacijas, veikiant koncentruotoms apkrovoms įtraukia į darbą didesnę plokštės plotą.

Plokštė armuojama tik tempiamosiose zonose pagal lenkimo momentų diagramą (3 pav.). Tinklų pagrindinė armatūra yra iš 5 mm skersmens vielos arba 6–10 mm skersmens strypų. Atstumas tarp pagrindinių strypų tarpatramių vidurinėse zonose ir virš atramų neturi viršyti 200 mm, jeigu plokštės storis yra iki 150 mm. Kai plokštė



6 pav. Monolitinės plokštės armavimas atskiraisiais tinklais su vienu (a) ir su dviem tinklais atramose (b) bei apatinių (c) ir viršutinių (d) tinklų išdėstymo planas

Tinklai konstruojami individualiai kiekvienam tarpatramiui arba atramai, kuriuose veikia skirtingi momentai. Tinklų plotis atitinka plokštės tarpatramio ilgį l_{p1} ir l_{p2} – kraštiniame ir kituose tarpatramiuose. Tinklų, dedamų virš atramų, plotis lygus $\sim 0,5$ plokštės tarpatramio ilgio.

Jeigu plokštės storis yra didesnis nei 90 mm, rekomenduojama plokštės viršutiniui armavimui taikyti du $0,4 \cdot l_{pi}$ pločio tinklus, dedant juos vieną ant kito su $0,1 \cdot l_{pi}$ pločio užleidimu (6 pav., b). Taikant tokį armavimą sutaupoma iki 20 % armatūros.

Plokščių tinklus dažnai tenka sudurti. Sandūrų tipai priklauso nuo pagrindinės ir pagalbinės armatūros padėties tinkle. Nerekomenduojama tinklą sudurti tuose plokštės ruožuose, kuriuose išnaudojamas visas tempiamosios armatūros stiprumas.

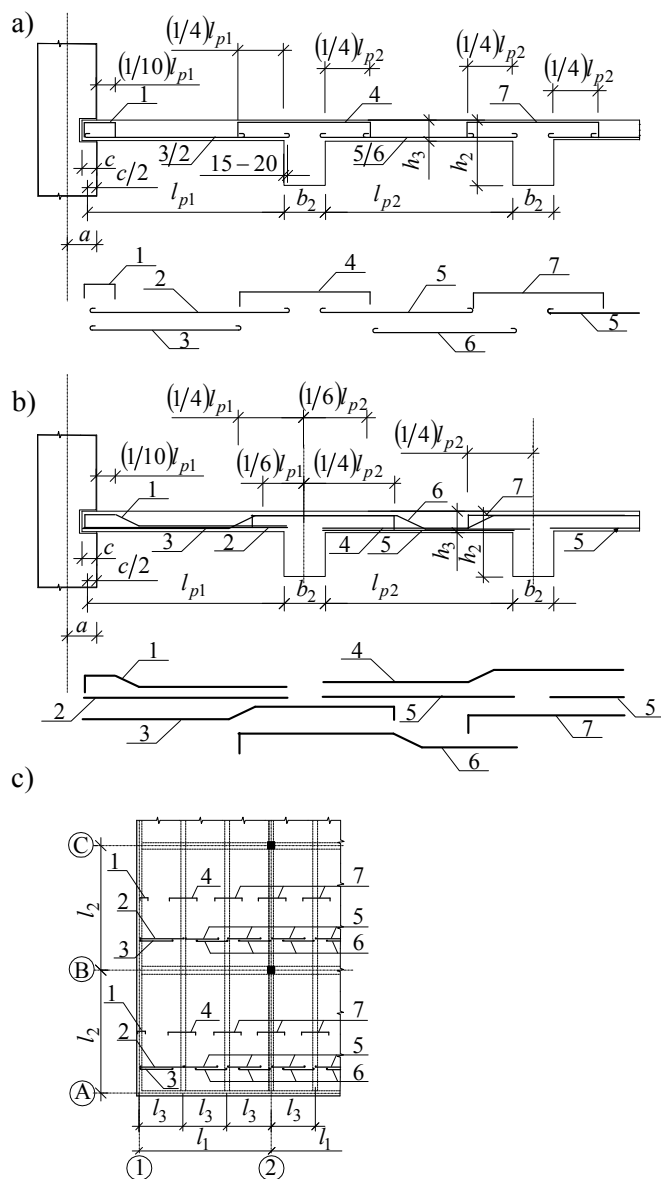
Tempiamosios pagrindinės armatūros sandūros visada turi būti išdėstytos perstumiant. Jungiamųjų armatūros strypų skerspjūvio plotas viename pjūvyje turi būti ne didesnis kaip 50 % viso armatūros skerspjūvio ploto – rumbuotajai armatūrai ir ne daugiau kaip 25 % – lygiems armatūros strypams.

Atskirtųjų strypų, virintinių tinklų ir strypynų jungimas užlaida be perstūmimo leidžiamas konstrukciniam armavimui, taip pat ruožuose, kuriuose armatūros stiprumas išnaudojamas ne daugiau kaip 50 %.

Virintinių tinklų sandūros užlaida statmena pagrindinei armatūrai linkme su perstūmimu (imant tarp tinklo kraštinių strypų):

- 50 mm, kai paskirstomosios (pagalbinės) armatūros skersmuo ≤ 4 mm;
- 100 mm, kai paskirstomosios armatūros skersmuo > 4 mm.

Kai darbo armatūra ≥ 16 mm, virintinius tinklus ne darbo linkme galima dėti suglaustai (vienas šalia kito), jungimo vietą perdengiant specialiais tinklais, užleidžiant į abi puses ne mažiau kaip $15 \varnothing$ (\varnothing – paskirstomosios armatūros skersmuo) ir ne mažiau kaip 100 mm.



7 pav. Monolitinės plokštės armavimas pavieniais strypais: a – be atlankų; b – su atlankomis; c – strypų išdėstymo planas

Prie laisvųjų atramų (ant plytų mūro sienų) armatūros tinklai virš atramos privalo turėti bent vieną skersinį (paskirstomąjį) strypą pagrindinei armatūrai inkaruoti.

Plokščių armavimas pavieniais armatūros strypais (7 pav.) taikomas palyginti retai, esant nedidelėms darbų apimtims ir kai nėra suvirintinių tinklų.

Darbinės armatūros strypų skersmuo 6–10 mm, sunkiai apkrautoms plokštėms – 12–16 mm.

Pagrindinės darbinės armatūros strypai gali būti su atlankomis (7 pav., a) ir be atlankų (7 pav., b).

Taikant pirmąjį armavimo variantą, dalis tarpatramio darbo armatūros yra ties atramomis ir atlenkiama į viršų (į tempiamąją plokštės zoną). Armatūros strypai atlenkiami 30° kampu, kai plokštės storis neviršija 100 mm, ir 45° kampu, jeigu jis yra didesnis. Atlankos daromos ne tik ties vidurinėmis, bet ir prie kraštinių atramų.

Antruoju atveju plokštės tarpatramiuose statmenai šalutinėms sijoms išdėstomi pavieniai darbinės armatūros strypai su inkaravimo kilpomis galuose. Šie strypai išdėstomi taip, kad tik kas antras strypas siektų šalutinės sijos kraštą. Atraminėse zonose plokštė armuojama tos pačios klasės armatūros kabėmis.

Armatūros strypų skersmuo ir jų išdėstymo žingsnis parenkami atsižvelgiant į reikiamos armatūros kiekį ir vadovaujantis bendraisiais konstravimo reikalavimais. Pirmajame tarpatramyje ir antrojoje atramoje, kur lenkimo momentai yra didesni, armavimo intensyvumas gali būti padidintas, dedant papildomus armatūros strypus arba paliekant tą patį, bet didesnio skersmens strypų skaičių.

Armatūros projektinei padėčiai užtikrinti statmenai jai dedama ir prie jos tvirtinama pagalbinė skirstomoji Ø 6 mm skersmens armatūra.

3. ŠALUTINĖS SIJOS PROJEKTAVIMAS

3.1. Apkrovos

Šalutinę siją slegia perdangos ruožo, kurio plotis (l_3) yra lygus atstumui tarp šalutinių sijų ašių, apkrova. Todėl šalutinės sijos apkrova yra apskaičiuojama 1 m^2 perdangos plokštės apkrovą dauginant iš atstumo tarp šalutinių sijų ašių l_3 (2 pav.). Taip pat būtina įvertinti pačios šalutinės sijos savojo svorio sukiamą apkrovą. Šalutinės sijos apkrovos charakteristinė ir skaičiuotinė reikšmės apskaičiuojamos:

$$g_{s,k} = b_2(h_2 - h_3) \cdot \gamma; \quad (31)$$

$$g_{s,d} = g_{s,k} \cdot \gamma_G, \quad (32)$$

čia b_2 ir h_2 – šalutinės sijos parinkti skerspjūvio matmenys (1 skyrius).

Šalutinę siją veikiančios nuolatinės ir kintamosios apkrovos skaičiuotinės reikšmės apskaičiuojamos taip:

$$g_d = g_{p,d} \cdot l_3 + g_{s,d}; \quad (33)$$

$$q_d = q_{p,d} \cdot l_3, \quad (34)$$

čia $g_{p,d}$ ir $q_{p,d}$ – perdangos plokštės nuolatinės ir kintamosios apkrovos skaičiuotinės reikšmės.

Todėl visa šalutinę siją veikianti apkrova

$$p_d = g_d + q_d. \quad (35)$$

3.2. Įrašų skaičiavimas

Šalutinė sija yra daugiaatramė nekarpytoji sija, kurią veikia tolygiai paskirstyta apkrova p_d (8 pav.). Jos tarpatramių skaičiuotiniai

ilgiai l_s imami lygūs atstumui tarp pagrindinių sijų šonų (8 pav., a, b), t. y.

$$l_s = l_2 - b_1. \quad (36)$$

Jei kraštinių tarpatramių šalutinės sijos remiasi į mūro sienas, tai jų skaičiuotiniai ilgiai l_{s1} lygūs atstumui nuo pagrindinės sijos šono iki atramos centro

$$l_{s1} = l_2 - \frac{b_1}{2} - a + \frac{c_2}{2}. \quad (37)$$

Šalutinės sijos atramos ant sienos ilgis c_2 paprastai yra lygus plytos ilgiui (250 mm).

Perdangos kintamoji apkrova gali veikti visuose tarpatramiuose arba tik kai kuriuose. Todėl kiekviename šalutinės sijos pjūvyje turi būti nustatomos maksimalios ir minimalios įrašos. Žinodami šias įrašų reikšmes galime sudaryti įrašų gaubtines diagramas.

Skaičiuojant gaubtinių diagramų įrašas reikia atsižvelgti į pagrindinių sijų, kurios suvaržo šalutinių sijų pasisukimą ir sumažina leistinosios apkrovos poveikį neapkrautiems tarpatramiams, įtaką.

Daroma prielaida, kad 25 % kintamosios apkrovos nuolat veikia visuose tarpatramiuose. Todėl lenkimo momentų ir skersinių jėgų diagramos sudaromos pagal šiuos apkrovų išdėstymo variantus (8 pav., b):

- 1) maksimali apkrova ($p_{sup} = g_d + q_d$) veikia nelyginiuose tarpatramiuose, o minimali apkrova ($p_{inf} = g_d + 0,25q_d$) – lyginiuose tarpatramiuose;
- 2) maksimali apkrova (p_{sup}) veikia lyginiuose tarpatramiuose, o minimali apkrova (p_{inf}) – nelyginiuose tarpatramiuose.

Įvertinant tokį apkrovų išdėstymą ir įrašų persiskirstymą, šalutinių sijų maksimalūs lenkimo momentai (8 pav., c):

- a) pirmajame tarpatramyje

$$M_{Ed,1} = \frac{p_d \cdot l_{s1}^2}{11}; \quad (38)$$

b) antrojoje nuo sijos galo atramoje

$$M_{Ed,b} = -\frac{p_d \cdot \left(\frac{l_{s1} + l_s}{2}\right)^2}{14}; \quad (39)$$

c) viduriniuose tarpatramiuose

$$M_{Ed} = \frac{p_d \cdot l_s^2}{16}; \quad (40)$$

d) trečiojoje ir kitose tarpinėse atramose

$$M_{Ed,c} = M_{Ed} = -\frac{p_d \cdot l_s^2}{16}. \quad (41)$$

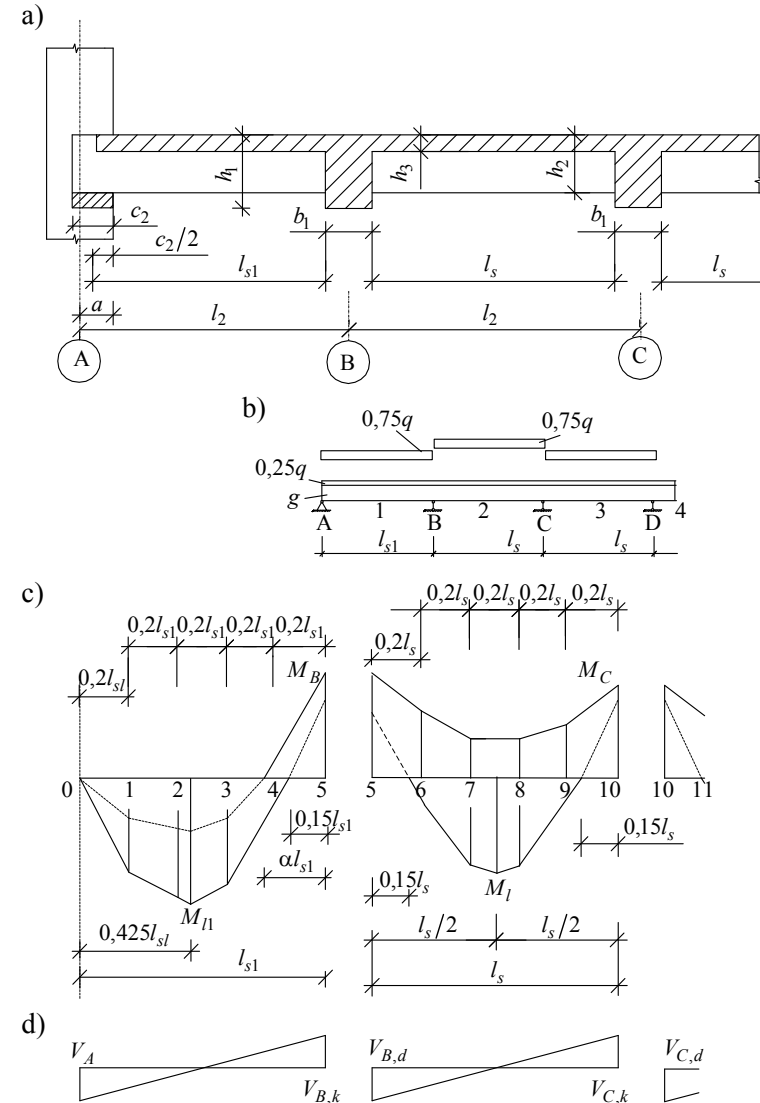
Sudarant įrašų gaubtines kiekvienoje sijoje įrašos nustatomos bent 5 taškuose. Lenkimo momentų reikšmės šiuose taškuose apskaičiuojamos taip:

$$M_{Ed,i} = \beta_i (g_d + q_d) l_s^2. \quad (42)$$

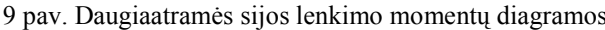
Formulėje (42) esantis koeficientas β_i nustatomas atsižvelgiant į kintamosios ir nuolatinės apkrovų santykį $\left(\frac{q}{g}\right)$. Koeficiento β_i reikšmės pateiktos 9 pav. ir 2 lentelėje. Lentelėje pateiktas didžiausiems neigiamiems ir mažiausiems teigiamiems lenkimo momentams skaičiuoti skirtos koeficientų β_i reikšmės. Didžiausiems teigiamiems lenkimo momentams skaičiuoti skirtų koeficientų reikšmės parodytos 9 pav.

Skersinės jėgos kraštinėje ir tarpinėse atramose (8 pav., d):

$$V_{Ed,a} = 0,4 \cdot p_d \cdot l_{s1}; \quad (43)$$



8 pav. Šalutinės sijos vaizdas iš šono (a); šalutinės sijos skaičiuotinė schema su apkrovimo variantais (b); lenkimo momentų gaubtinė diagrama (c) bei skersinių jėgų diagrama (d)



$$V_{Ed,b,right} = 0,5 \cdot p_d \cdot l_s. \quad (45)$$

2 lentelė. Koeficientų β_i reikšmės daugiaatramės sijos neigiamiems lenkimo momentams skaičiuoti pagal (42) formulę

$\frac{q}{g}$	Pjūvio Nr. (9 pav.)					
	5	6	7	8	9	10
0,5	-0,0715	0,01	+0,022	+0,024	-0,004	-0,0625
1,0	-0,0715	-0,02	+0,016	+0,009	-0,014	-0,0625
1,5	-0,0715	-0,026	-0,003	0	-0,02	-0,0625
2,0	-0,0715	-0,03	-0,009	-0,006	-0,024	-0,0625
2,5	-0,0715	-0,033	-0,012	-0,009	-0,027	-0,0625
3,0	-0,0715	-0,035	-0,016	-0,014	-0,029	-0,0625
3,5	-0,0715	-0,037	-0,019	-0,017	-0,031	-0,0625
4,0	-0,0715	-0,038	-0,021	-0,021	-0,018	-0,032
4,5	-0,0715	-0,039	-0,022	-0,02	-0,033	-0,0625
5,0	-0,0715	-0,04	-0,024	-0,021	-0,034	-0,0625
$\frac{q}{g}$	Pjūvio Nr. (9 pav.)					
	10	11	12	13	14	15
0,5	-0,0625	-0,003	+0,028	+0,028	-0,003	-0,0625
1,0	-0,0625	-0,013	+0,013	+0,013	-0,013	-0,0625
1,5	-0,0625	-0,019	-0,004	+0,004	-0,019	-0,0625
2,0	-0,0625	-0,023	-0,003	-0,003	-0,023	-0,0625
2,5	-0,0625	-0,025	-0,006	-0,006	-0,025	-0,0625
3,0	-0,0625	-0,028	-0,01	-0,01	-0,028	-0,0625
3,5	-0,0625	-0,029	-0,013	-0,013	-0,029	-0,0625
4,0	-0,032	-0,0625	-0,03	-0,015	-0,03	-0,0625
4,5	-0,0625	-0,032	-0,016	-0,016	-0,032	-0,0625
5,0	-0,0625	-0,033	-0,018	-0,018	-0,033	-0,0625

Pavyzdys

Projektuojama sijinės perdangos šalutinė sija. Atstumas tarp šalutinių sijų ašių $l_3 = 2,0$ m. Atstumas tarp pagrindinių sijų ašių – $l_2 = 6,0$ m (1 pav.). Pagrindinės sijos skerspjūvis $b \times h = 0,3 \times 0,6$ m. Perdangos plokštės apkrovos pateiktos 2.1 skyriaus 1 lentelėje.

Kraštinė šalutinė sija remiasi į mūro sieną. Atrėmimo zonos ilgis $c_2 = 250$.

Reikia apskaičiuoti veikiančias sijų apkrovas ir sijos įrašas.

Apskaičiuojame šalutinės sijos (1 pav.) svorio sukeliama apkrovą:

$$g_{s,k} = b_2(h_2 - h_3) \gamma \cdot g = 0,2(0,4 - 0,07) \cdot 2\,500 \cdot 9,81 = 1\,618 \text{ N/m}' = 1,62 \text{ kN/m}';$$

$$g_{s,d} = g_{s,k} \cdot \gamma_G = 1,62 \cdot 1,35 = 2,19 \text{ kN/m}'.$$

Visa šalutinę siją veikiančios apkrovos skaičiuotinė reikšmė

$$p_d = g_d \cdot l_3 + g_{s,d} + q_d \cdot l_3 = 3,44 \cdot 2,0 + 2,19 + 6,5 \cdot 2,0 = 22,07 \text{ kN/m}'.$$

Sijos skaičiuotinė schema pateikta 8 pav. Sijos pirmojo tarpatramio skaičiuotinis ilgis

$$l_{s1} = l_2 - \frac{b_1}{2} - a + \frac{c_2}{2} = 6,0 - \frac{0,3}{2} - 0,2 + \frac{0,25}{2} = 5,775 \text{ m}.$$

Kitų tarpatramių skaičiuotiniai ilgiai

$$l_s = l_2 - b_1 = 6,0 - 0,3 = 5,7 \text{ m}.$$

Didžiausi teigiami ir didžiausi neigiami lenkimo momentai apskaičiuojami pagal (38–41) formules:

$$M_{Ed,1} = \frac{22,07 \cdot 5,775^2}{11} = 66,9 \text{ kN}\cdot\text{m};$$

$$M_{Ed,b} = -\frac{22,07 \cdot \left(\frac{5,775 + 5,7}{2}\right)^2}{14} = -51,9 \text{ kN}\cdot\text{m};$$

$$M_{Ed} = \frac{22,07 \cdot 5,7^2}{16} = 44,8 \text{ kN}\cdot\text{m};$$

$$M_{Ed,c} = -\frac{22,07 \cdot 5,7^2}{16} = -44,8 \text{ kN}\cdot\text{m}.$$

Norint sudaryti lenkimo momentų gaubtinę, lenkimo momentai skaičiuojami pagal (42) formulę, kartu naudojantis 9 pav. ir 2 lentele.

Apskaičiuojame

$$\frac{q}{g} = \frac{q_d \cdot l_3}{g_d \cdot l_3 + g_{s,d}} = \frac{6,5 \cdot 2,0}{3,44 \cdot 2,0 + 2,19} = \frac{13,0}{9,07} = 1,43.$$

Apskaičiuotų lenkimo momentų reikšmės pateiktos 3 lentelėje.

Koeficientai $-\beta$ ir $+\beta$ surandami iš 2 lentelės (interpoliuojant).

Lenkimo momentų gaubtinę parodyta 8 pav. Pjūvis, kuriame neigiamo lenkimo momento diagrama pirmajame tarpatramyje kerta sijos ašį nuo 5 taško, yra lygus

$$l'_3 = 0,224 \cdot l_{s1} = 0,224 \cdot 5,775 = 1,293 \text{ m}.$$

Skersinės jėgos apskaičiuojamos pagal (43–45) formules:

$$V_{Ed,a} = 0,4 p_d l_{s1} = 0,4 \cdot 22,07 \cdot 5,775 = 50,98 \text{ kN};$$

$$V_{Ed,b,left} = -0,6 p_d l_{s1} = -0,6 \cdot 22,07 \cdot 5,775 = -76,47 \text{ kN};$$

$$V_{Ed,b,right} = -V_{Ed,c,left} = 0,5 \cdot p_d l_s = 0,5 \cdot 22,07 \cdot 5,7 = 62,90 \text{ kN}.$$

3 lentelė. Šalutinių sijų lenkimo momentų maksimalios ir minimalios reikšmės

Tarpatramis	Pjūvio Nr.	Atstumas nuo kairiosios atramos iki pjūvio, m	$p l^2$, kN·m	$-\beta$	$+\beta$	$M_{Ed,min}$, kN·m	$M_{Ed,max}$, kN·m
1	1	1,16		–	0,065	–	47,84
	2	2,31	$22,07 \times$	–	0,090	–	66,24
	3	3,47	$5,775^2 =$	–	0,075	–	55,20
	4	4,62	736,0	–	0,02	–	14,72
	5	5,775		–0,0715	–	–52,62	–
2	5	0		–0,0715	–	–51,26	–
	6	1,14	$22,07 \times$	–0,0252	0,018	–18,07	12,91
	7	2,28	$5,7^2 =$	–0,00034	0,058	–0,24	41,59
	8	3,42	717,0	0,00126	0,058	0,90	41,59
	9	4,56		–0,0192	0,018	–13,77	12,91
	10	5,7		–0,0625	–	–44,81	–

3.3. Sijos skerspjūvio matmenų skaičiavimas

Šalutinės sijos skerspjūvio matmenys (b_2 ir h_2) preliminarai buvo apskaičiuoti parenkant ir išdėstant monolitinės perdangos elementus (žr. 1 skyrių). Tačiau šiuo skaičiavimo etapu, kai yra žinomos šalutinės sijos įrašos, tikslinga patikslinti sijos skerspjūvio matmenis.

Naudingasis sijos aukštis d apskaičiuojamas įvertinus maksimalaus lenkimo momento reikšmę

$$d = \sqrt{\frac{|M_{Ed,max}|}{\mu_{Ed,s} \cdot f_{cd} \cdot b_w}}. \quad (46)$$

Skerspjūvio gniuždomąją zoną apibūdinantis dydis $\mu_{Ed,s}$ apskaičiuojamas pagal (21) formulę, esant santykiniam gniuždomosios

zonos aukščiui $\xi_{eff} = (0,35 - 0,4)$. Šalutinės sijos aukštis h apskaičiuojamas pagal formulę

$$h = d + c + \frac{\emptyset}{2}, \quad (47)$$

čia c – betoninis armatūros apsauginis sluoksnis; \emptyset – numatomas armatūros skersmuo.

Betoninis apsauginis sluoksnis c turi būti ne mažesnis nei išilginės armatūros strypų maksimalus skersmuo \emptyset ir ne mažesnis kaip 20 mm. Rekomenduojama, kad $c + \frac{\emptyset}{2}$ būtų 30–50 mm.

Sijos aukštis turi būti kartotinis kas 50 mm, kai $h \leq 600$ mm, ir kartotinis kas 100 mm, kai $h > 600$ mm.

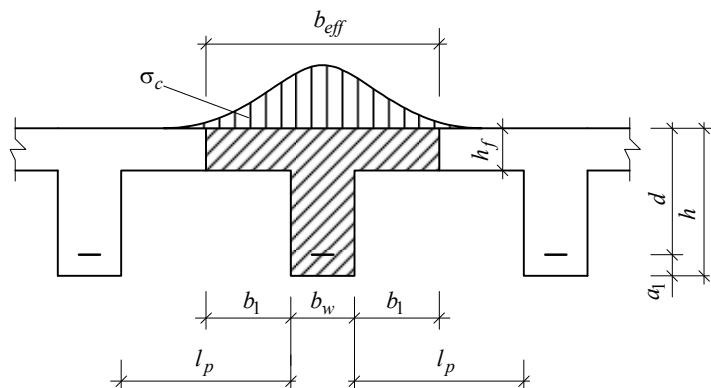
Šalutinės sijos tarpatramių pjūviuose veikia teigiami lenkimo momentai, kurie sijos apačioje sukelia tempimo įtempius, o sijos viršuje – gniuždymo įtempius. Šiuose pjūviuose skaičiuotinis sijos skerspjūvis – tėjinis, kurio lentyna yra gniuždomojoje zonoje. Lentynos skaičiuotinis plotis b_{eff} priklauso nuo gniuždomosios zonos betono įtempių σ_c pasiskirstymo (10 pav.). Kuo toliau nuo sienelės kraštų, tuo mažesni lentynos betono gniuždymo įtempiai. Todėl tėjinio skerspjūvio lentynos skaičiuotinis plotis yra ribojamas.

Skaičiuotinis plotis b_{eff} skaičiuojamas atsižvelgiant į šias sąlygas:

$$\left. \begin{aligned} b_{eff} &\leq b_w + \frac{1}{3} l_s \\ b_{eff} &\leq b_w + l_p \end{aligned} \right\}, \text{ kai } h_f \geq 0,1h; \quad (48)$$

$$\left. \begin{aligned} b_{eff} &\leq b_w + 12h_f \\ b_{eff} &\leq b_w + \frac{1}{3} l_s \\ b_{eff} &\leq b_w + l_p \end{aligned} \right\}, \text{ kai } h_f \leq 0,1h, \quad (49)$$

čia l_p – atstumas tarp šalutinių sijų šonų; l_s – šalutinės sijos skaičiuotinis ilgis; b_w – šalutinės sijos sienelės plotis.



10 pav. Betono gniuždymo įtempių σ_c intensyvumas lentynoje

Prie atramų (neigiamų lenkimo momentų zonoje) sijos lentynoje sukeliami tempimo įtempiai yra sijos viršuje, o sijos apačioje – gniuždymo įtempiai. Kadangi skaičiuojant lenkiamųjų elementų stiprį tempiamojo betono darbas neįvertinamas, tai neigiamų lenkimo momentų zonoje sijos skaičiuotinis skerspjūvis yra stačiakampis.

Pavyzdys

Monolitinės sijinės perdangos šalutinių sijų įrašos apskaičiuotos 3.2 skyriaus pavyzdyje (3 lentelė). Šalutinių sijų betonas yra C16/20 klasės.

Reikia apskaičiuoti reikiamą šalutinės sijos skerspjūvio aukštį. Parenkame santykinį gniuždomosios zonos aukštį

$$\xi_{eff} = 0,35.$$

Apskaičiuojame

$$\mu_{Ed,s} = \xi_{eff}(1 - 0,5 \cdot \xi_{eff}) = 0,35(1 - 0,5 \cdot 0,35) = 0,289.$$

Sijos naudingasis skerspjūvio aukštis pagal (46):

$$d = \sqrt{\frac{52,62}{0,289 \cdot 9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,2}} = 0,306 \text{ m.}$$

Sijos skerspjūvio aukštis pagal (47):

$$h = 0,306 + 0,025 + \frac{0,02}{2} = 0,341 \text{ m.}$$

Sijos skerspjūvio aukštį paliekame anksčiau parinktą $h = 0,4 \text{ m}$. Sijos plotis $b = 0,2 \text{ m}$.

3.4. Išilginės pagrindinės armatūros skaičiavimas

Šalutinės sijos išilginės pagrindinės armatūros kiekis (skersmuo, plotas) apskaičiuojamas visuose būdinguose sijos ruožuose. Apatinės išilginės pagrindinės armatūros reikiamas skerspjūvio plotas apskaičiuojamas pagal didžiausius teigiamus lenkimo momentus sijos tarpatrio viduryje arba šalia jo, o viršutinės išilginės pagrindinės armatūros kiekis – pagal didžiausius neigiamus lenkimo momentus sijos atramose. Skaičiuojant išilginę armatūrą tarpatrio viduryje skerspjūvio gniuždomoji zona yra sijos viršuje, todėl skaičiuotinis skerspjūvis yra tėjo formos (11 pav.), o skaičiuojant išilginę armatūrą šalia atramų skerspjūvio gniuždomoji zona yra sijos apačioje, todėl skaičiuotinis skerspjūvis yra stačiakampio formos (12 pav.).

Norint apskaičiuoti išilginės armatūros skerspjūvio plotą A_{s1} , reikia žinoti elemento skerspjūvio matmenis b_w , b_{eff} , h , d , h_f bei betono gniuždomąjį skaičiuotinį stiprį f_{cd} , darbo armatūros skaičiuotinį stiprį f_{yd} ir apkrovos sukeltus lenkimo momentus M_{Ed} .

Tėjinio skerspjūvio elementų skaičiavimo algoritmas priklauso nuo neutraliosios ašies n–n padėties lentynos atžvilgiu.

Pradėdami skaičiavimą tikriname, kur yra neutraliosios ašies (n–n) padėtis. Darome prielaidą, kad $x_{eff} = h_f$ (neutralioji ašis tariamai sutapdinama su lentynos apačia) ir apskaičiuojame lenkimo momentą $M_{Rd,f}$:

$$M_{Rd,f} = f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot h_f (d - 0,5 \cdot h_f). \quad (50)$$

Jeigu $M_{Rd,f} \geq M_{Ed}$ – tai neutralioji ašis yra lentynoje ($x_{eff} \leq h_f$). Toks tėjinio skerspjūvio elementas skaičiuojamas kaip stačiakampio skerspjūvio elementas, kurio plotis $b = b_{eff}$ (11 pav., a). Šiuo atveju sijos tempiamosios armatūros kiekio nustatymas niekuo nesiskiria nuo plokštės armatūros skerspjūvio ploto skaičiavimo (žr. 2.3 skyrių).

Priešingu atveju, t. y. kai $M_{Rd,f} < M_{Ed}$, neutralioji ašis n–n kerta sijos sienelę. Yra gniuždoma visa lentyna ir dalis sienelės (11 pav., b).

Todėl išorinių ir vidinių jėgų statinės pusiausvyros lygtys:

$$f_{yd} \cdot A_{s1} = f_{cd} \cdot b_w \cdot x_{eff} + f_{cd} (b_{eff} - b_w) h_f; \quad (51)$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{cd} \cdot b_w \cdot x_{eff} (d - 0,5 \cdot x_{eff}) + f_{cd} (b_{eff} - b_w) h_f (d - 0,5 h_f). \quad (52)$$

Pusiausvyros lygtyje (52) narys $f_{cd} \cdot b_w \cdot x_{eff} (d - 0,5 \cdot x_{eff})$ pakeičiamas išraiška $f_{cd} \cdot b_w \cdot \mu_{Ed,s} \cdot d^2$ ir lygtis atrodo taip:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{cd} \cdot b_w \cdot \mu_{Ed,s} \cdot d^2 + f_{cd} \cdot (b_{eff} - b_w) \cdot h_f \cdot (d - 0,5 h_f). \quad (52a)$$

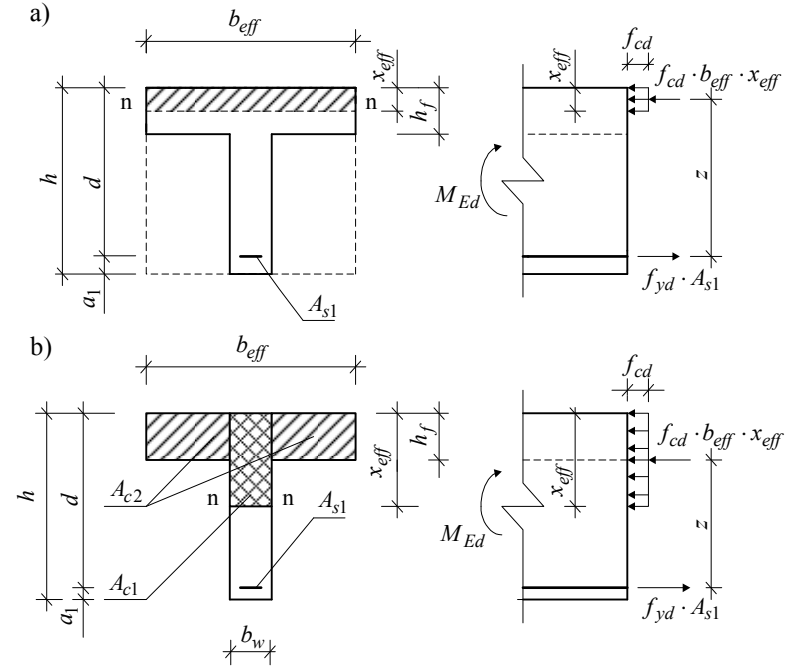
Iš (52a) lygties apskaičiuojamas gniuždomąją zoną apibūdinantis dydis $\mu_{Ed,s}$

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed} - f_{cd} \cdot (b_{eff} - b_w) \cdot h_f \cdot (d - 0,5 h_f)}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d^2}. \quad (53)$$

Santykinės gniuždomosios zonos aukštis

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Ed,s}} \quad (54)$$

arba pagal 4 priedą.



11 pav. Vienpusio armavimo tėjinio skerspjūvio elemento skaičiuotinė schema ir skaičiuotinis įtempių būvis statmenajame pjūvyje, kai gniuždomoji zona yra lentynoje (a) ir sienelėje (b)

Apskaičiavus santykinį gniuždomosios zonos aukštį tikrinama sąlyga

$$\xi_{eff} \leq \xi_{lim}. \quad (55)$$

ξ_{lim} reikšmė apskaičiuojama pagal 2.3 skyriaus (18) formulę.

Jeigu (55) sąlyga yra neišpildoma ($\xi_{eff} > \xi_{lim}$), reikia didinti sijos skerspjūvio matmenis arba tolesnius skaičiavimus atlikti darant prielaidą, kad $\xi_{eff} = \xi_{lim}$, arba gniuždomąją zoną armuoti išilgine armatūra.

Tempiamosios išilginės pagrindinės armatūros plotas A_{s1} skaičiuojamas iš (51) lygties, gniuždomosios zonos aukštį x_{eff} pakeitus $x_{eff} = \xi_{eff} \cdot d$:

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b_w \cdot \xi_{eff} \cdot d + f_{cd} \cdot (b_{eff} - b_w) \cdot h_f}{f_{yd}}. \quad (56)$$

Šalutinės sijos išilginės pagrindinės armatūros skaičiavimo tarpatrio pjūviuose algoritmas parodytas 14 pav.

Šalia atramų esančiuose pjūviuose išilginė armatūra skaičiuojama įvertinant 12 pav. parodytą skaičiuojamąją schemą. Skaičiuojama sprendžiant dvi pusiausvyros lygtis:

$$f_{yd} \cdot A_{s1} = f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} = f_{cd} \cdot b \cdot \xi_{eff} \cdot d; \quad (57)$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} \cdot (d - 0,5x_{eff}) = f_{cd} \cdot b \cdot \mu_{Ed,s} \cdot d^2. \quad (58)$$

Gniuždomąją zoną apibūdinantis dydis $\mu_{Ed,s}$ apskaičiuojamas iš (58) lygties.

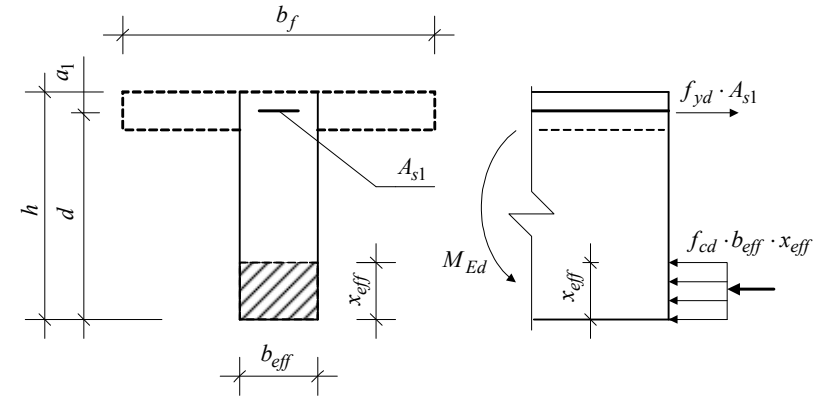
$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2}. \quad (59)$$

Lenkimo momentas $M_{Ed} = M_{Ed,b}, M_{Ed,c} \dots$ yra lygus nagrinėjamoje atramoje veikiančiam lenkimo momentui.

Santykinis gniuždomosios zonos aukštis apskaičiuojamas pagal (54) formulę arba 4 priedą. Apskaičiavus santykinį gniuždomosios zonos aukštį turi būti išpildoma $\xi_{eff} \leq \xi_{lim}$ sąlyga.

Atramų pjūviuose pagrindinės išilginės armatūros plotas apskaičiuojamas

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot \xi_{eff} \cdot d}{f_{yd}}. \quad (60)$$



12 pav. Vienpusio armavimo tėjinio skerspjūvio skaičiuotinė schema ir įtempių būvis statmenajame pjūvyje, kai lentyna yra tempiamojoje zonoje

Tarpatrio ir atramų pjūviuose išilginė armatūra išdėstoma vadovaujantis konstravimo taisyklių reikalavimais.

Pavyzdys

Projektuojama monolitinės sijinės perdangos šalutinė sija. Pagal 3.2 skyriaus pavyzdyje gautus šalutinės sijos lenkimo momentus reikia apskaičiuoti ir išdėstyti išilginę pagrindinę armatūrą. Šalutinės sijos didžiausi lenkimo momentai:

$$M_{Ed,1} = 66,9 \text{ kN} \cdot \text{m}; \quad M_{Ed,b} = -51,9 \text{ kN} \cdot \text{m};$$

$$M_{Ed} = 44,8 \text{ kN} \cdot \text{m}; \quad M_{Ed,c} = -44,8 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Sijos betonas – C16/20 klasės.

Sijos skerspjūvis $h \times b = 0,4 \times 0,2 \text{ m}$.

Apskaičiuojame armatūros plotą sijos tarpatriuose (didžiausių lenkimo momentų zonoje). Tarpatriamyje sija armuojama S400 klasės armatūra ($f_{yd} = 365 \text{ MPa}$).

Sijos lentynos storis $h_f = 0,07 \text{ m}$. Sijos lentynos skaičiuojamasis plotis apskaičiuojamas pagal (48) formulę

$$\begin{cases} b_f \leq 0,2 + \frac{1}{3} 5,7 = 2,1 \text{ m}; \\ b_f \leq 0,2 + 1,8 = 2,0 \text{ m}, \end{cases}$$

(kadangi $0,1 \cdot h = 0,1 \cdot 0,4 = 0,04 < h_f = 0,07 \text{ m}$).

Skaičiuojamasis sijos lentynos plotis

$$b_{eff} = 2,0 \text{ m}.$$

Sijos skerspjūvio naudingasis aukštis

$$d = h - c - \frac{\varnothing}{2} = 0,4 - 0,025 - \frac{0,02}{2} = 0,365 \text{ m}.$$

Apskaičiuojama

$$\begin{aligned} M_{Rd,f} &= f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot h_f (d - 0,5h_f) = \\ &= 9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,0 \cdot 0,07 (0,365 - 0,5 \cdot 0,07) = 443,5 \text{ kN} \cdot \text{m}. \end{aligned}$$

Kadangi $M_{Rd,f} > M_{Ed,1} (> M_{Ed})$ tarpatramyje sijos skerspjūvio neutralioji ašis yra lentynoje.

Pirmajame tarpatramyje (ties tarpatramio viduriu) armatūros plotas:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed,1}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d^2} = \frac{66,9}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,0 \cdot 0,365^2} = 0,0262;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0262} = 0,0266 < \xi_{lim} = 0,635.$$

Santykinio gniuždomosios zonos aukščio ribinė reikšmė:

$$\xi_{lim} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s,lim}}{\sigma_{sc,lim}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,773}{1 + \frac{365}{500} \left(1 - \frac{0,773}{1,1}\right)} = 0,635;$$

$$\omega = \alpha - \beta \cdot f_{cd} = 0,85 - 0,008 \cdot 9,6 = 0,773;$$

$$\sigma_{s,lim} = f_{yd} = 365 \text{ MPa}; \quad \sigma_{sc,lim} = 500 \text{ MPa}.$$

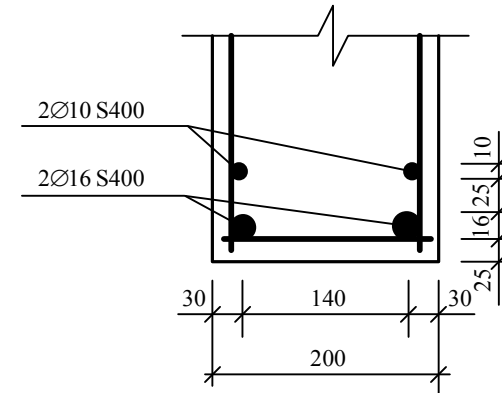
$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot \xi_{eff} \cdot d}{f_{yd}} =$$

$$\frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,0 \cdot 0,0266 \cdot 0,37}{365 \cdot 10^3} = 5,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 5,11 \text{ cm}^2.$$

Parenkami tarpatramio armatūros strypai (5 priedas).

Pirmajame tarpatramyje sija armuojama 2 Ø 16 + 2 Ø 10 S400 klasės armatūra, kurios faktinis skerspjūvio plotas $A_{s1,f} = 5,59 \text{ cm}^2$.

Armatūros strypai išdėstomi skirtinguose lygiuose. Apatinių strypų (2 Ø 16 S400) skerspjūvio plotas $A_{s1,1} = 4,02 \text{ cm}^2$ ir atstumas – $a_{s1,1} = 33 \text{ mm}$. Viršutinių strypų (2 Ø 16 S400) skerspjūvio plotas $A_{s1,2} = 1,57 \text{ cm}^2$ ir atstumas – $a_{s1,2} = 71 \text{ mm}$.



Kadangi armatūra išdėstoma dviejuose lygiuose, sumažėja naudingasis skerspjūvio aukštis. Būtina patikrinti sijos stiprį, įvertinant tikrąjį naudingąjį sijos skerspjūvio aukštį.

Tikrasis skerspjūvio naudingasis aukštis

$$d = h - a_{s1} = 0,4 - 0,0437 = 0,3563 \text{ m},$$

čia

$$a_{s1} = \frac{A_{s1,1} \cdot a_{s1,1} + A_{s1,2} \cdot a_{s1,2}}{A_{s1,1} + A_{s1,2}} = \frac{4,02 \cdot 3,3 + 1,57 \cdot 7,1}{4,02 + 1,57} = 4,37 \text{ cm.}$$

Įvertindami tikrąjį naudingąjį skerspjūvio aukštį, patikriname šios stiprį statmename pjūvyje:

$$x_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1}}{f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot 5,59 \cdot 10^{-4}}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,0} = 0,01063 \text{ m};$$

$$\xi_{eff} = \frac{x_{eff}}{d} = \frac{0,01063}{0,3563} = 0,0298 < \xi_{lim} = 0,635;$$

$$M_{Rd} = f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot x_{eff} (d - 0,5h_{eff}) = 9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,0 \cdot 0,01063 (0,3563 - 0,5 \cdot 0,01063) = 71,63 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

Sijos stipris pirmajame tarpatramyje yra pakankamas, kadangi

$$M_{Ed,1} = 66,9 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{Rd} = 71,63 \text{ kN} \cdot \text{m.}$$

Antrajame tarpatramyje (ties tarpatramio viduriu) reikiamas armatūros plotas:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d^2} = \frac{44,8}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,0 \cdot 0,365^2} = 0,01751;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,01751} = 0,01767 < \xi_{lim} = 0,635;$$

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot \xi_{eff} \cdot d}{f_{yd}} =$$

$$\frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,0 \cdot 0,01767 \cdot 0,365}{365 \cdot 10^3} = 3,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 3,39 \text{ cm}^2.$$

Parenkami tarpatramio armatūros strypai (5 priedas).

Antrajame tarpatramyje sija armuojama 2 Ø 16 S400 armatūra, kurios faktinis skerspjūvio plotas $A_{s1,f} = 4,02 \text{ cm}^2$. Kadangi armatū-

ra išdėstyta viename lygyje ir jos faktinis skerspjūvio plotas didesnis už reikiamą plotą, sijos stiprio netikriname.

Šalutinių sijų pagrindinė armatūra atramose. Šiuose pjūviuose sijos lentynos yra tempiamojoje zonoje. Todėl sija skaičiuojama kaip stačiakampis elementas (12 pav.). Šių pjūvių pagrindinė armatūra yra T5–T6 tinklų armatūra. Tinklai gaminami iš S500 vielos.

Sijos išilginė pagrindinė armatūra B atramoje:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed,b}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = \frac{51,9}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372^2} = 0,1953;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1953} = 0,219 < \xi_{lim} = 0,621;$$

$$\omega = 0,85 - 0,008 \cdot 9,6 = 0,773;$$

$$\xi_{lim} = \frac{0,773}{1 + \frac{410}{500} \left(1 - \frac{0,773}{1,1} \right)} = 0,621;$$

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot \xi_{eff} \cdot d}{f_{yd}} =$$

$$\frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,219 \cdot 0,372}{410 \cdot 10^3} = 3,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 3,81 \text{ cm}^2.$$

Atramoje B šalutinės sijos tempiamoji zona yra armuojama tinklu T5, kurio strypai Ø 5 S500 yra šalutinių sijų pagrindinė išilginė armatūra. Šių strypų žingsnis

$$s = l_s \cdot A_{si} / A_{s1} = 200 \cdot 0,196 / 3,81 = 10,2 \text{ cm} = 102 \text{ mm.}$$

Viola Ø 5 S500 išdėstoma $s = 100 \text{ mm}$ žingsniu. Tinklas T5 – (125/100/5/5).

Sijos C ir kitų tarpinių atramų pagrindinė išilginė armatūra:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed,c}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = \frac{44,8}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372^2} = 0,1686;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1686} = 0,1859 < \xi_{lim} = 0,621;$$

$$A_{s1} = \frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,1859 \cdot 0,372}{410 \cdot 10^3} = 3,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 3,24 \text{ cm}^2.$$

Šalutinės sijos atramoje C tempiamoji zona yra armuojama tinklu T6, kurio strypai $\varnothing 5$ S500 yra šalutinių sijų pagrindinė išilginė armatūra. Šių strypų žingsnis

$$s = l_s \cdot A_{s1} / A_s = 200 \cdot 0,196 / 3,24 = 12,09 \text{ cm} = 120,9 \text{ mm}.$$

Viola $\varnothing 5$ S500 išdėstoma $s = 120 \text{ mm}$ žingsniu. Tinklas T6 – (125/120/5/5).

3.5. Skersinės armatūros skaičiavimas

Sijos atramų zonoje veikiant skersinėms jėgoms ir lenkimo momentams, atsiranda įstrižieji plyšiai, kurie dalija elementą į dvi dalis. Jų atsiradimo vieta, posvyrio kampas ir plotis priklauso nuo daugelio veiksnių.

Išskiriami trys įstrižojo pjūvio suirimo atvejai:

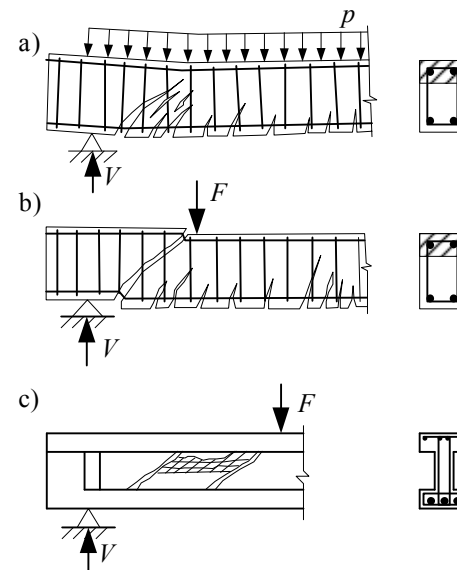
1. Lenkiamojo elemento dalių pasisukimas viena kitos atžvilgiu dėl didelių lenkimo momentų poveikio (13 pav., a).
2. Elemento dalių pasislinkimas dėl didelių skersinių jėgų poveikio (13 pav., b).
3. Elemento sienelės dalies tarp įstrižųjų plyšių suardymas dėl didelių svarbiausiųjų gniuždymo įtempių poveikio (13 pav., c).

Čia nagrinėjami 2 ir 3 suirimo atvejai.

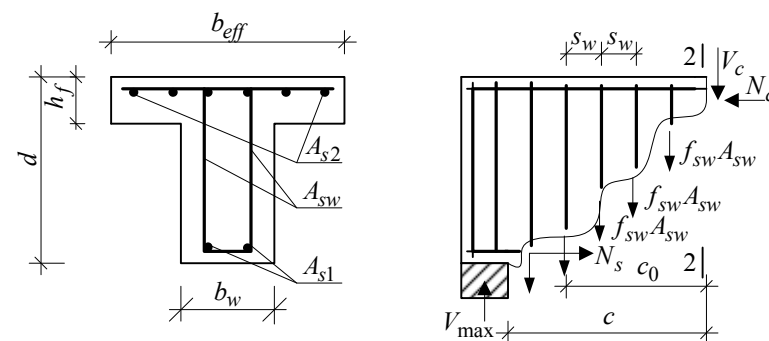
Elementų įstrižojo pjūvio stipris skersinės jėgos atžvilgiu bus pakankamas, jeigu

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} + V_{Rd,sw} + V_{Rd,s,inc}, \quad (61)$$

čia V_{Ed} – skersinė jėga veikianti pjūvyje 2-2 (14 pav.); $V_{Ed,c}$ – skersinė jėga, kurią atlaiko betonas; $V_{Rd,sw}$ ir $V_{Rd,s,inc}$ – skersinės armatūros ir atlankų atlaikoma skersinė jėga.



13 pav. Lenkiamųjų elementų suirimo įstrižajame pjūvyje atvejai: dėl lenkimo momento poveikio (a); dėl didelių skersinių jėgų poveikio (b); dėl didelių svarbiausiųjų gniuždymo įtempių (c)



14 pav. Įstrižojo pjūvio skaičiuojamoji schema

Nagrinėjame atvejį, kai sijoje atlankų nėra, todėl $V_{Rd,s,inc} = 0$. Gniuždomosios zonos betono atlaikoma skersinė jėga:

$$V_{Rd,c} = \varphi_{c2}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2 / c; \quad (62)$$

$$V_{Rd,c} \geq \varphi_{c3}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d, \quad (63)$$

čia φ_{c2} ir φ_{c3} – koeficientai, kurie priklauso nuo betono rūšies ($\varphi_{c2} = 2$ ir $\varphi_{c3} = 0,6$ – sunkiajam betonui; $\varphi_{c2} = 1,7$ ir $\varphi_{c3} = 0,5$ – smulkiagrūdžiam betonui; $\varphi_{c2} = 1,9$ ir $\varphi_{c3} = 0,5$ – lengvajam betonui).

Koeficientas φ_n įvertina išilginių gniuždymo jėgų N įtaką ir apskaičiuojamas

$$\varphi_n = \frac{0,1 \cdot N}{f_{ctd} \cdot b_w \cdot d} \leq 0,5. \quad (64)$$

Elementą veikiant ašinėms tempimo jėgoms, koeficientas φ_n apskaičiuojamas

$$\varphi_n = -0,2 \frac{N}{f_{ctd} \cdot b_w \cdot d} \leq |0,8|. \quad (65)$$

Pavojingąjo įstrižojo pjūvio projekcija į išilginę ašį apskaičiuojama

$$c = \sqrt{\frac{\varphi_{c2}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2}{p_{d1}}} \leq c_{\lim} = \frac{\varphi_{c2}}{\varphi_{c3}} d, \quad (66)$$

jeigu

$$p_{d1} \leq 0,563 \cdot v_{sw}, \quad (67)$$

čia $p_{d1} = p_d = g_d + q_d$, kai kintamoji apkrova q_d yra iš tikrųjų tolygiai paskirstyta (pvz., vandens slėgis) ir $p_{d1} = g_d + 0,5q_d$, kai laikinoji apkrova q_d yra ekvivalentinė tolygiai paskirstyta apkrova (paimta iš STR 2.05.04:2003).

Kai sąlyga (67) netinka, tai

$$c = \sqrt{\frac{\varphi_{c2}(1 + \varphi_n)f_{std} \cdot b_w \cdot d^2}{p_{d1} + v_{sw}}} \leq c_{\lim} = \frac{\varphi_{c2}}{\varphi_{c3}} d. \quad (68)$$

Preliminariai skersinių strypų intensyvumas formulėje (68) apskaičiuojamas

$$v_{sw} = \frac{f_{ywd} \cdot A_{sw}}{s_w}, \quad (69)$$

čia f_{ywd} – skersinės armatūros projektinis stipris; A_{sw} – elemento skerspjūvyje esančių skersinių strypų skerspjūvio plotas; s_w – skersinės armatūros strypų išdėstymo žingsnis.

Skersinių strypų skerspjūvio plotas ir jų išdėstymo žingsnis šiuo skaičiavimo etapu pasirenkamas pagal konstravimo reikalavimus

$s_w \leq \frac{h}{2}$ ir $s_w \leq 150$ mm, kai sijos skerspjūvio aukštis $h \leq 450$ mm;

$s_w \leq \frac{h}{3}$ ir $s_w \leq 500$ mm, kai $h > 450$ mm. Mažiausias skersinių strypų skersmuo suvirintuose strypynuose priklauso nuo išilginės armatūros strypų skersmens (7 priedas).

Kai elementą veikia sutelktoji apkrova, c (pavojingąjo įstrižojo pjūvio projekcija) yra lygi atstumui nuo atramos iki šios apkrovos, tačiau $c \leq c_{\max}$.

Skersinės armatūros skaičiuoti nereikia (ji parenkama tik pagal anksčiau pateiktus konstravimo reikalavimus), jeigu

$$V_{Ed} \leq \varphi_{c4}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2 / c; \quad (70)$$

$$V_{Ed} \geq \varphi_{c3}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d; \quad (71)$$

$$V_{Ed} \leq 2,5f_{ctd} \cdot b_w \cdot d, \quad (72)$$

čia φ_{c3} ir φ_{c4} – koeficientai, priklausantys nuo betono rūšies ($\varphi_{c3} = 0,6$ ir $\varphi_{c4} = 1,5$ – sunkiojo ir akytojo betono; $\varphi_{c3} = 0,5$ ir

$\varphi_{c4} = 1,2$ – smulkiagrūdžio betono; $\varphi_{c3} = 0,5$ ir $\varphi_{c4} = 1,2$ – lengvojo betono koeficientai).

Jeigu (70), (71) ir (72) sąlygos yra neišpildomos, tai būtina skaičiuoti reikiamą skersinės armatūros intensyvumą.

Reikiamas skersinės armatūros intensyvumas v_{sw} apskaičiuojamas

$$v_{sw} = (V_{Ed} - V_{Rd,c}) / c_0. \quad (73)$$

Pavojingojo įstrižojo plyšio projekcija į išilginę ašį c_0 apskaičiuojama

$$c_0 = \sqrt{\varphi_{c2}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2 / v_{sw}}. \quad (74)$$

Tačiau

$$\left. \begin{array}{l} c_0 \leq 2d \\ c_0 \leq c \\ c_0 \geq d \end{array} \right\}. \quad (75)$$

Formulėje (74) įrašomas v_{sw} , apskaičiuotas pagal (69).

Jeigu pagal (74) apskaičiuota c_0 reikšmė yra $c_0 \geq 2d$, tai tolesniems skaičiavimams įvertinama $c_0 = 2d$; jeigu $c_0 \geq c$, tai $c_0 = c$, jeigu $c_0 \leq d$, tai $c_0 = d$.

Reikiamos skersinės armatūros intensyvumas v_{sw} , apskaičiuotas pagal (73), turi būti

$$v_{sw} \geq v_{sw,min} = \varphi_{c3}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w / 2. \quad (76)$$

Pagal apskaičiuotą skersinės armatūros strypų intensyvumą v_{sw} (73, 76 formulės), skersinių strypų žingsnis

$$s_w = f_{ywd} \cdot A_{sw} / v_{sw}. \quad (77)$$

Skersinės armatūros strypų žingsnis neturi viršyti didžiausio skersinės armatūros žingsnio

$$s_w \leq s_{w,max} = 0,75 \cdot \varphi_{c2}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2 / V_{Ed} \quad (78)$$

bei konstravimo reikalavimuose nurodyto didžiausiojo skersinės armatūros žingsnio.

Skersinė jėga V_{Ed} (veikiant tolygiai paskirstytai apkrovai), apskaičiuojama

$$V_{Ed} = V_{Ed,max} - p_{d1} \cdot c. \quad (79)$$

Didinant skersinės armatūros kiekį, kyla pavojus elementą perarmuoti skersine linkme, t. y. sienelė tarp įstrižųjų plyšių gali sugniužti anksčiau, negu bus pasiekti skersinės armatūros ribiniai įtempiai. Todėl būtina tikrinti sąlygą

$$V_{Ed} \leq 0,3 \cdot \varphi_{w1} \cdot \varphi_{c1} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d. \quad (80)$$

Skersinių strypų įtaką įvertinantis koeficientas

$$\varphi_{w1} = 1 + 5 \cdot \alpha \cdot \rho_{sw} \leq 1,3, \quad (81)$$

$$\text{čia } \alpha = \frac{E_s}{E_c}; \quad \rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_w}.$$

Betono rūšį įvertinantis koeficientas

$$\varphi_{c1} = 1 - \beta \cdot f_{cd}, \quad (82)$$

čia β – koeficientas, įvertinantis betono rūšį ($\beta = 0,02$ – lengvojo betono; $\beta = 0,01$ – kitų betonų koeficientas).

Pavyzdys

Projektuojama monolitinės sijinės perdangos šalutinė sija. Pagal 3.2 skyriaus pavyzdyje gautas šalutinės sijos didžiausias skersinės jėgas reikia apskaičiuoti ir išdėstyti skersinę armatūrą. Šalutinės sijos didžiausia skersinė jėga yra, kai B atrama $V_{Ed,b,left} = -76,47$ kN. Siją veikia nuolatinė apkrova $g_d = 9,07$ kN/m ir laikinoji apkrova

$q_d = 13,0$ kN/m. Betonas – C16/20 klasės. Siją numatoma armuoti S240 klasės skersine armatūra, kurios stipris $f_{ywd} = 157$ MPa.

Sija bus armuojama $\varnothing 6$ S240 klasės armatūra.

Skaičiuotinis betono gniuždomasis stipris

$$f_{cd} = \alpha \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,9 \cdot 1 \cdot 16 / 1,5 = 9,6 \text{ MPa.}$$

Skaičiuotinis betono tempiamasis stipris

$$f_{ctd} = \alpha \cdot \alpha_{ct} \cdot f_{ctk} / \gamma_c = 0,9 \cdot 1 \cdot 1,3 / 1,5 = 0,78 \text{ MPa.}$$

Kadangi ašinės jėgos arba armatūros išankstinio gniuždymo jėgos neveikia, tai $\varphi_n = 0$.

Kadangi perdanga yra iš sunkiojo betono, tai

$$\varphi_{c2} = 2; \quad \varphi_{c3} = 0,6; \quad \varphi_{c4} = 1,5.$$

Atsižvelgiant į konstravimo reikalavimus, parenkamas skersinės armatūros žingsnis.

$$s_w \leq \frac{h}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ m ir } s_w \leq 0,15 \text{ m.}$$

Skersinės armatūros žingsnis $s_w = 0,15$ m, skersinės armatūros skerspjūvio plotas pjūvyje

$$A_{sw} = n \cdot A_{sw1} = 2 \cdot 0,283 = 0,566 \text{ cm}^2 = 0,566 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2,$$

sijoje yra dvi skersinių strypų eilės, todėl $n = 2$.

Parinktos skersinės armatūros intensyvumas

$$v_{sw} = \frac{157 \cdot 10^3 \cdot 0,566 \cdot 10^{-4}}{0,15} = 59,24 \text{ kN/m.}$$

Veikianti siją laikinoji apkrova q_1 yra ekvivalentinė, todėl apskaičiuojama

$$p_{d1} = g_d + 0,5 \cdot q_d = 9,07 + 0,5 \cdot 13,00 = 15,57 \text{ kN}\cdot\text{m.}$$

Tikrinama sąlyga

$$p_{d1} = 15,57 < 0,563 \cdot v_{sw} = 0,563 \cdot 59,24 = 33,35 \text{ kN}\cdot\text{m.}$$

Šiuo atveju pavoingojo ištiriojo pjūvio projekcija į išilginę sijos ašį

$$c = \sqrt{\varphi_{c2}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w d^2 / p_1} =$$

$$\sqrt{2(1 + 0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372^2 / 15,57} =$$

$$1,665 \text{ m} > c_{\max} = \frac{\varphi_{c2}}{\varphi_{c3}} d = \frac{2}{0,6} \cdot 0,372 = 1,24 \text{ m.}$$

Todėl $c = c_{\max} = 1,24$ m.

Apskaičiuojama

$$V_{Ed} = V_{Ed,b,left} - p_{d1} \cdot c = 76,47 - 15,57 \cdot 1,24 = 57,16 \text{ kN.}$$

Tikrinamos (70), (71) ir (72) sąlygos:

$$V_{Ed} = 57,16 > 1,5(1 + 0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372^2 / 1,24 = 26,1 \text{ kN;}$$

$$V_{Ed} = 57,16 > 0,6(1 + 0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372 = 34,8 \text{ kN;}$$

$$V_{Ed} = 57,16 < 2,5 \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372 = 145,1 \text{ kN.}$$

Šios sąlygos rodo, kad skersinė armatūra yra reikalinga.

Apskaičiuojama skersinė jėga, kurią atlaiko sijos gniuždomosios zonos betonas (62)

$$V_{Rd,c} = \varphi_{c2}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2 / c =$$

$$2(1 + 0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372^2 / 1,24 = 34,8 \text{ kN} =$$

$$V_{Rd,c,min} = \varphi_{c3}(1 + \varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d =$$

$$2(1 + 0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372 = 34,8 \text{ kN.}$$

Apskaičiuojama pavoingojo ištiriojo plyšio projekcija į išilginę sijos ašį

$$c_0 = \sqrt{\varphi_{c2}(1+\varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2 / v_{sw}} = \\ \sqrt{2(1+0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372^2 / 59,24} = 0,854 \text{ m.}$$

Tikrinama:

$$c_0 = 0,854 \text{ m} > 2 \cdot 0,372 = 0,744 \text{ m};$$

$$c_0 = 0,854 \text{ m} < 1,24 \text{ m};$$

$$c_0 = 0,854 \text{ m} > 0,372 \text{ m.}$$

Todėl $c_0 = 2 \cdot d = 0,744 \text{ m}$.

Apskaičiuojamas skersinės armatūros intensyvumas:

$$v_{sw} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,c}}{c_0} = \frac{57,16 - 34,8}{0,744} = 30,05 \text{ kN/m};$$

$$v_{sw} = 30,05 \text{ kN/m} < v_{sw,\min} = \varphi_{c3}(1+\varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w/2 = \\ 0,6(1+0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,2/2 = 46,8 \text{ kN/m.}$$

Todėl $v_{sw} = v_{sw,\min} = 46,8 \text{ kN/m}$.

Apskaičiuojamas sijos skersinės armatūros žingsnis

$$s_w = f_{ywd} \cdot A_{sw} / v_{sw} = 157 \cdot 10^3 \cdot 0,566 \cdot 10^{-4} / 46,8 = 0,1898 \text{ m} <$$

$$s_{w,\max} = 0,75\varphi_{c2}(1+\varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2 / V_{Ed} = \\ 0,75(1+0)0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372^2 / 57,16 = 0,566 \text{ m.}$$

Remiantis konstravimo taisyklėmis, reikia, kad skersinės armatūros žingsnis būtų

$$s_w \leq 0,15 \text{ m} \text{ ir } s_w \leq \frac{h}{2} = 0,2 \text{ m},$$

todėl projektuojamoje sijoje skersinė armatūra $2 \varnothing 6 \text{ S240}$ yra išdėstoma $s_w = 150 \text{ mm}$ žingsniu. Patikrinama, ar sienelė nebus sugniuždyta anksčiau, negu bus pasiektas skersinės armatūros stipris

$$V_{Ed} = 57,16 \leq 0,3 \cdot \varphi_{w1} \cdot \varphi_{c1} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d = \\ 0,3 \cdot 1,066 \cdot 0,904 \cdot 9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,372 = 206,5 \text{ kN,}$$

čia

$$\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha \cdot \rho_w = 1 + 5 \cdot 7,07 \cdot 0,00188 = 1,066 < 1,3 ;$$

$$\alpha = \frac{20,5 \cdot 10^4}{29 \cdot 10^3} = 7,07; \quad \rho_w = \frac{0,566 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,15} = 0,00188;$$

$$\varphi_{c1} = 1 - 0,01 \cdot 9,6 = 0,904.$$

Sijos sienelės stipris yra pakankamas.

Apskaičiuotu žingsniu skersinė armatūra yra išdėstoma sijos atraminėje zonoje $\left(\frac{1}{4}l = 1,45 \text{ m}\right)$ (15–16 pav.). Vidurinėje sijos tarpatrio dalyje $\left(\frac{1}{2}l = 2,90 \text{ m}\right)$ skersinė armatūra išdėstoma pagal konstravimo taisyklės – $s_w \leq \frac{3}{4}h$ ir $s_w \leq 500 \text{ mm}$ žingsniu.

Todėl sijos vidurinėje dalyje skersinė armatūra $\varnothing 6 \text{ AI}$ išdėstoma $s_w = \frac{3}{4} \cdot 0,4 = 0,3 \text{ m} = 300 \text{ mm}$ žingsniu.

3.6. Sijų laikomosios galios gaubtinės sudarymas

Sijos stipris bet kuriame jos pjūvyje turi būti pakankamas atlaikyti projekte numatytais apkrovoms.

Sijos išilginė pagrindinė armatūra yra skaičiuojama pjūviuose, kuriuose veikia didžiausi lenkimo momentai (didžiausi teigiami ir didžiausi neigiami). Tačiau kituose sijos pjūviuose, kuriuose mažėja veikiantys lenkimo momentai, dalį išilginės armatūros strypų galima nutraukti. Norint nutraukti armatūros strypus, reikia apskaičiuoti sijos atlaikomąjį momentą M_{Rd} , esant didžiausiam numatomam išilginės darbinės armatūros kiekiui sijos tarpatriuose ir atramose

bei kiekvieno išilginės armatūros strypo, esančio sijoje, atlaikomąjį lenkimo momentą $M_{Rd,1}$.

Žinant šiuos atlaikomuosius lenkimo momentus, sijos laikomosios galios gaubtinė pavaizduojama grafiškai. Ji yra braižoma kartu su išorinių apkrovų sukeltamų lenkimo momentų gaubtine (15 pav.).

Pagal mastelį nubraižytoje lenkimo momentų gaubtinėje pažymimos strypų atlaikomųjų momentų reikšmės (reikšmės pagal mastelį atidedamos išilginės ašies atžvilgiu). Per šiuos taškus yra brėžiamos su sijos ašimi lygiagrečios linijos (15 pav.).

Teorinis išilginės darbo armatūros strypo nutraukimo taškas (11 ir 12 taškai, 15 pav.) yra pjūvyje, kuriame susikerta armatūros strypo atlaikomąjį momentą atitinkanti nubrėžta tiesė ir lenkimo momentų diagrama. Norint užtikrinti įstrižųjų pjūvių stiprų lenkimo momentų poveikiui, tempiamas strypas už teorinio nutraukimo taško turi būti pratęstas atstumu, ne mažesniu kaip $0,5h + 20 \varnothing$ ir ne mažesniu kaip l_{bd} . Dydis h yra konstrukcijos skerspjūvio aukštis, o \varnothing – nutraukiamo strypo skersmuo. Skaičiuotinis strypo inkaravimo ilgis l_{bd} apskaičiuojamas

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_b \geq l_{b,\min}, \quad (83)$$

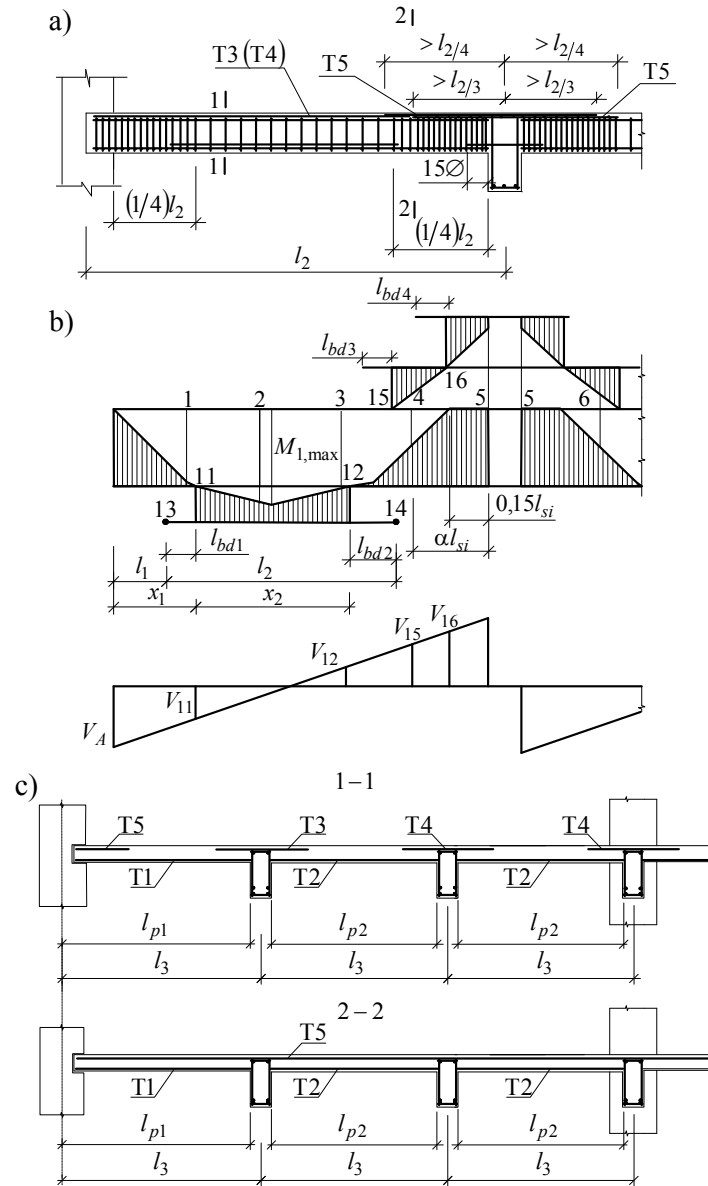
čia $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ – koeficientai, įvertinantys strypo inkaravimo sąlygas (6 priedas); l_b – bazinis strypo inkaravimo ilgis; $l_{b,\min}$ – mažiausias inkaravimo ilgis.

Bazinis inkaravimo ilgis l_b apskaičiuojamas taip

$$l_b = \frac{\varnothing \cdot \sigma_{sd}}{4f_{bd}}, \quad (84)$$

čia σ_{sd} – skaičiuotiniai armatūros įtempiai; \varnothing – nutraukiamo strypo skersmuo, mm; f_{bd} – armatūros ir betono sąlyčio sankabos ribiniai įtempiai, apskaičiuojami pagal formulę

$$f_{bd} = 2,25\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}, \quad (85)$$



15 pav. Šalutinės sijos armavimas (a, c) ir medžiagų gaubtinė (b)

čia f_{ctd} – skaičiuotinis betono tempiamasis stipris (betonams, kurių $f_{ck} > 55$ MPa, skaičiuotinį stiprį f_{ctd} imti kaip betonui $f_{ck} = 55$ MPa); η_1 – koeficientas, įvertinantis armatūros padėtį betonavimo metu ir sukibimo sąlygas (dažniausiai $\eta_1 = 0,7$); η_2 – koeficientas, įvertinantis strypo skersmens įtaką jo užsiinkaravimui (kai $\varnothing \leq 32$ mm, $\eta_2 = 1,0$).

Mažiausias inkaravimo ilgis $l_{b,min}$ tempiamiesiems strypams apskaičiuojamas

$$\left. \begin{aligned} l_{b,min} &> 0,6l_b; \\ l_{b,min} &> 15\varnothing; \\ l_{b,min} &> 100 \text{ mm.} \end{aligned} \right\}, \quad (86)$$

Pavyzdys

3.3, 3.4 ir 3.5 skyriuose pateiktuose pavyzdžiuose apskaičiuotos šalutinių sijų įrąžos ir armatūra. Lenkimo momentų gaubtinės reikšmės pateiktos 3 lentelėje ir 15 pav. Išilginė pagrindinė sijos armatūra pirmajame tarpatramyje $2 \varnothing 16$ S400 + $2 \varnothing 10$ S400 armatūra. Antrajame tarpatramyje $2 \varnothing 16$ S400 armatūra. Skersinė armatūra $\varnothing 6$ S240 atramų zonose, $s_w = 150$ mm.

Reikia sudaryti šalutinės sijos pirmojo tarpatramio laikomosios galios gaubtinę. Apskaičiuojamas $2 \varnothing 16$ S400 išilginės armatūros atlaikomasis momentas:

$$x_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1}}{f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot 4,02 \cdot 10^{-4}}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,0} = 0,00764 \text{ m};$$

$$\xi_{eff} = \frac{x_{eff}}{d} = \frac{0,00764}{0,372} = 0,0205 < \xi_{lim} = 0,635,$$

čia $d = h - a_{s1,1} = 0,4 - 0,028 = 0,372$ m.

$$M_{Rd,\varnothing 16} = f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot x_{eff} (d - 0,5x_{eff}) = 9,6 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 0,00764 (0,372 - 0,5 \cdot 0,00764) = 54,0 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Pagrindinės išilginės armatūros strypai sijos skerspjūvyje turi būti išdėstyti simetriškai, todėl norėdami sumažinti armatūros sąnaudas turime nutraukti abu $2 \varnothing 10$ S400 strypus kartu. Apskaičiuojamas $2 \varnothing 10$ S400 išilginės armatūros atlaikomasis momentas:

$$x_{eff} = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot 1,57 \cdot 10^{-4}}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,0} = 0,00298 \text{ m};$$

$$\xi_{eff} = \frac{x_{eff}}{d} = \frac{0,00298}{0,334} = 0,00892 \leq \xi_{lim} = 0,635,$$

čia $d = h - a_{s1,2} = 0,4 - 0,066 = 0,334$ m;

$$M_{Rd,\varnothing 10} = 9,6 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 0,00298 (0,334 - 0,5 \cdot 0,00298) = 19,02 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Lenkimo momentų gaubtinėje pagal mastelį atidedame $M_{Rd,\varnothing 16}$ ir $M_{Rd,\varnothing 10}$ reikšmes. Per šiuos taškus nubrėžiame liniją, horizontalią sijos ašiai. Šių tiesių susikirtimo su lenkimo momentų diagrama taškai (11, 12) yra teoriniai strypų nutraukimo taškai (15 pav.).

Nutraukiamų $\varnothing 10$ S400 strypų inkaravimo ilgiai:

$$\left\{ \begin{aligned} l_{bd} &\geq 0,5h + 20\varnothing = 0,5 \cdot 400 + 20 \cdot 10 = 400 \text{ mm}; \\ l_{bd} &\geq \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_4 \cdot l_b = 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 743 = 520 \text{ mm}; \\ l_{bd} &\geq l_{b,min} = 445,8 \text{ mm}, \end{aligned} \right.$$

čia $\alpha_1 = 1,0$ (iš 6 priedo); $\alpha_2 = 1 - 0,15(22 - 3 \cdot 10)/10 = 1,12$; $\alpha_2 \leq 1$; $\alpha_2 \geq 0,7$, todėl $\alpha_2 = 1,0$ (iš 6 priedo); $\alpha_4 = 0,7$ (iš 6 priedo).

$$l_b = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{365}{1,228} = 743 \text{ mm},$$

čia $\varnothing = 10 \text{ mm}$; $\sigma_{sd} = f_{yd} = 365 \text{ MPa}$;

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,78 = 1,228 \text{ MPa},$$

čia $\eta_1 = 0,7$; $\eta_2 = 1,0$; $f_{ctd} = 0,78 \text{ MPa}$.

Mažiausias inkaravimo ilgis:

$$\left. \begin{aligned} l_{b,\min} &> 0,6l_b = 0,6 \cdot 743 = 445,8 \text{ mm}; \\ l_{b,\min} &> 15\varnothing = 15 \cdot 10 = 150 \text{ mm}; \\ l_{b,\min} &> 100 \text{ mm}. \end{aligned} \right\}$$

Iš čia mažiausias inkaravimo ilgis $l_{b,\min} = 445,8 \text{ mm}$. Atsižvelgiant į gautus inkaravimo ilgio skaičiavimo rezultatus, strypų pratęsimo ilgiai nuo 11 ir 12 taškų $l_{bd} = 520 \text{ mm}$.

Norint nustatyti tinklo T5 nutraukimo vietą, nustatome 15 taško padėtį. Tai tinklo T5 teorinio nutraukimo taškas. Apskaičiuojame tinklo T5 pratęsimo ilgį:

$$\left\{ \begin{aligned} l_{bd} &\geq 0,5h + 20\varnothing = 0,5 \cdot 400 + 20 \cdot 5 = 300 \text{ mm}; \\ l_{bd} &\geq \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_4 \cdot l_b = 1 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 417 = 204 \text{ mm}; \\ l_{bd} &\geq l_{b,\min} = 250 \text{ mm}, \end{aligned} \right.$$

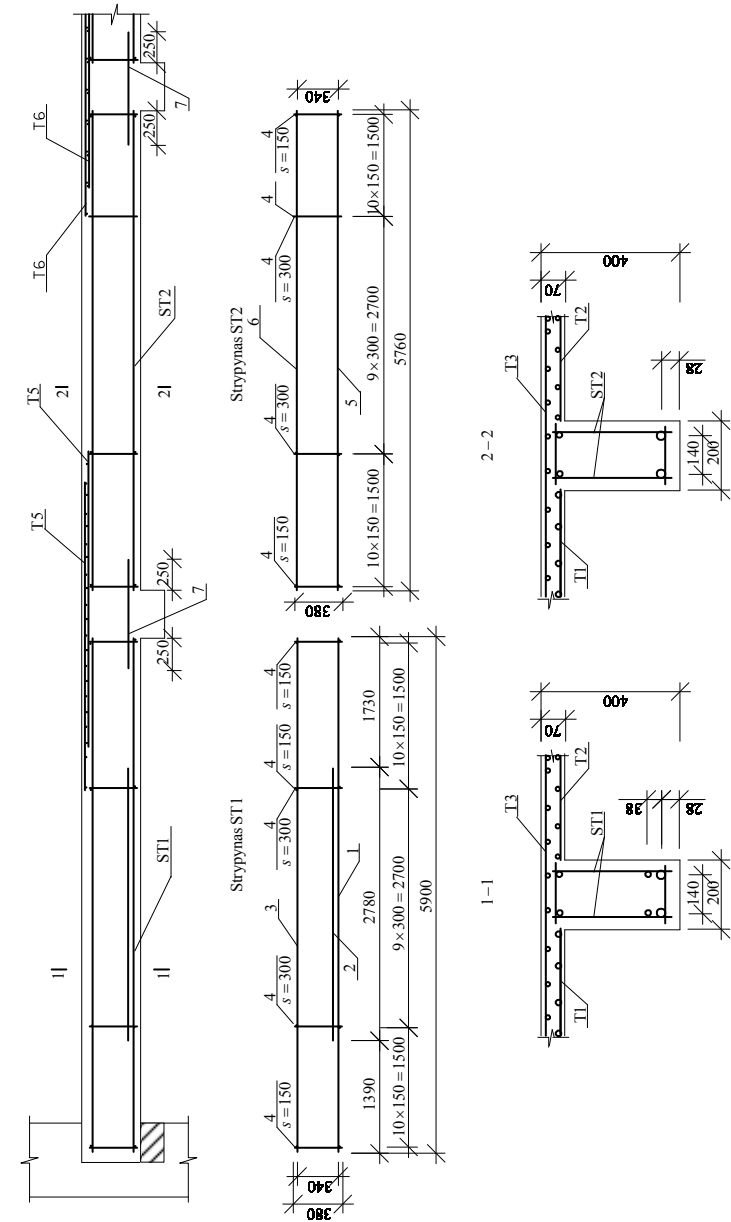
čia $\alpha_1 = 1,0$ (iš 6 priedo); $\alpha_2 = 1 - 0,15(25 - 3 \cdot 5)/5 = 0,7$ (iš 6 priedo); $\alpha_4 = 0,7$ (iš 6 priedo).

$$l_b = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{5}{4} \cdot \frac{410}{1,228} = 417 \text{ mm},$$

čia $\varnothing = 5 \text{ mm}$; $\sigma_{sd} = f_{yd} = 410 \text{ MPa}$;

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,78 = 1,228 \text{ MPa},$$

čia $\eta_1 = 0,7$; $\eta_2 = 1,0$; $f_{ctd} = 0,78 \text{ MPa}$.



16 pav. Šalutinės sijos armatūros išdėstymo pavyzdys

Mažiausias inkaravimo ilgis:

$$\left. \begin{aligned} l_{b,\min} &> 0,6l_b = 0,6 \cdot 417 = 250 \text{ mm}; \\ l_{b,\min} &> 15\varnothing = 15 \cdot 5 = 75 \text{ mm}; \\ l_{b,\min} &> 100 \text{ mm}. \end{aligned} \right\}$$

Iš čia mažiausias inkaravimo ilgis $l_{b,\min} = 250$ mm. Atsižvelgiant į skaičiavimo rezultatus, tinklo T5 pratęsimo ilgis nuo 15 taško $l_{bd} = 300$ mm.

3.7. Sijos konstravimas

Šalutinės sijos yra armuojamos suvirintiniais arba rištaisiais strypynais ir tinklais.

Sijos armatūra yra pagrindinė ir konstruktyvi.

Išilginės pagrindinės strypynų armatūros skersmuo – ne mažesnis kaip 10 mm. Skersinė armatūra (priklausomai nuo išilginės armatūros skersmens) 5–12 mm (7 priedas).

Kadangi tarpatramyje teigiamas lenkimo momentas (atramų link) mažėja, taupant armatūrą dalis išilginės pagrindinės armatūros strypų gali būti nutraukti arba atlenkti į sijos viršų. Atlankų posvyrio kampas – 45° . Tuo atveju, kai sija aukšta, atlenkimo kampas gali būti 60° . Tačiau sijose, kurių plotis > 150 mm, iki sijos galo turi būti pratęsti ne mažiau kaip du strypai. Išilginė armatūra nutraukiama pagal 3.6 skyriuje pateiktą metodiką. Ties pagrindine sija šalutinės sijos išilginė apatinė armatūra sujungiama jungiamaisiais strypais. Jungiamųjų strypų skersmuo turi būti ≥ 10 mm ir $> 0,5 \varnothing$ (\varnothing – išilginės darbo armatūros strypo skersmuo). Jungiamieji strypai nuo pagrindinės sijos šono turi būti pratęsti ne mažiau kaip $15 \varnothing$ ir ne mažiau kaip $s + 50$ mm (s – skersinės armatūros žingsnis prie atramos) atstumu. Sijos atrama gali būti armuojama dviem būdais:

- strypynais;
- tinklais.

Armuojant strypynais, strypų skaičius apskaičiuojamas pagal atramoje veikiančią neigiamą lenkimo momentą. Esant daugiau nei dviem strypams, dalis strypų tarpatramyje gali būti nutraukti. Strypai nutraukiami ir armatūra pratęsiama laikantis 3.6 skyriaus rekomendacijų.

Armuojant atraminę zoną tinklais, sijos darbo armatūra yra trumpesnieji tinklų strypai. Norint uždengti visą neigiamų lenkimo momentų zoną bei sutaupyti armatūros, gali būti naudojami du armatūros tinklai. Vienas jų angos link yra užleidžiamas $(0,25-0,3)l$, o kitas – $(0,15-0,17)l$. Tikslus tinklų užleidimas nustatomas atsižvelgiant į veikiančius lenkimo momentus, remiantis 3.6 skyriuje pateiktais nurodymais.

Atstumas tarp apatinės išilginės darbo armatūros strypų turi būti $a \geq \varnothing$, $a \geq 25$ mm, o tarp virintinės išilginės – $a \geq \varnothing$, $a \geq 30$ mm. Išilginė pagrindinė armatūra gali būti išdėstyta viename lygyje arba keliuose. Kai sijoje armatūra išdėstyta daugiau nei dviejuose lygiuose, tai viršutinėse eilėse (išskyrus dvi apatines eiles) atstumas tarp strypų (horizontalia kryptimi) turi būti $a \geq 50$ mm.

Išilginės darbo armatūros betoninio apsauginio sluoksnio storis

$$c \geq \varnothing, c \geq c_{\min}.$$

Mažiausias leistinasis apsauginis betono sluoksnio storis c_{\min} parodytas 6 priede.

Sijose visada yra numatoma skersinė armatūra (išskyrus, kai $h \leq 150$ mm). Kraštiniuose angos ketvirčiuose $\left(\frac{1}{4}l\right)$ sijų skersinės armatūros žingsnis:

$$\left. \begin{aligned} s_w &\leq 150 \text{ mm} \\ s_w &\leq \frac{1}{2}h \end{aligned} \right\}, \text{ kai } h \leq 450 \text{ mm};$$

$$\left. \begin{array}{l} s_w \leq 300 \text{ mm} \\ s_w \leq \frac{1}{3} h \end{array} \right\}, \text{ kai } h > 450 \text{ mm},$$

čia s_w – skersinės armatūros žingsnis; h – sijos skerspjūvio aukštis.

Sijų vidurinėje dalyje $\left(\frac{1}{2}l\right)$, esant sijos aukščiui $h > 300$ mm, skersinės armatūros žingsnis

$$\left. \begin{array}{l} s_w \leq 500, \\ s_w \leq \frac{3}{4} h. \end{array} \right\}.$$

Sijų strypynai turi būti sujungti į erdvinį strypyną. Strypynų viršuje ir apačioje yra išdėstomi jungiamieji strypai. Jų išdėstymo žingsnis turi būti ne didesnis kaip 3–5 kartus už strypynų skersinės armatūros žingsnį, ne didesnis kaip 500 mm ir ne didesnis už dvigubą elemento plotį.

Skersinės armatūros apsauginis betoninis sluoksnis turi būti:

- $c \geq \emptyset$;
- $c \geq 15$ mm, kai konstrukcija normaliomis ir mažai agresyviomis sąlygomis.

Didėjant aplinkos agresyvumui, apsauginio betono sluoksnio storį kiekvienai agresyvumo klasei reikia padidinti 5 mm.

4. PAGRINDINĖS SIJOS PROJEKTAVIMAS

4.1. Apkrovos

Pagrindinę siją slegia perdangos ruožo, kurio plotis yra lygus atstumui tarp pagrindinių sijų ašių, apkrova. Skaičiuojant pagrindinę siją, ši apkrova įvertinama sutelktosiomis jėgomis, veikiančiomis šalutinių sijų atrėmimo į pagrindinę siją vietose. Atskirai apskaičiuojamos nuolatinės ir kintamosios apkrovos

$$G_{d,1} = g_d \cdot l_2; \quad (87)$$

$$Q_d = q_d \cdot l_2, \quad (88)$$

čia g_d ir q_d – šalutinės sijos nuolatinė ir kintamoji apkrovos (33) ir (34).

Skaičiuojant pagrindinę siją būtina įvertinti jos savąjį svorį

$$G_{d,2} = (h_1 - h_3) \cdot b_1 \cdot l_3 \cdot \gamma \cdot g \cdot \gamma_G. \quad (89)$$

Pagrindinę siją veikianti nuolatinė jėga

$$G_d = G_{d,1} + G_{d,2}. \quad (90)$$

Pagrindinė sija yra daugiaatramė nekarpytoji sija, kurią šalutinių sijų atrėmimo į pagrindines sijas vietose veikia sutelktosios jėgos (17 pav.). Sijos skaičiuotinis ilgis yra lygus atstumui tarp kolonų šonų.

Pavyzdys

Pasirinkti pagrindinės sijos matmenys:

$$h_1 = \left(\frac{1}{10}\right)l_1 = \frac{1}{10} \cdot 6\,000 = 600 \text{ mm};$$

$$b_1 = 0,5 \cdot h_1 = 0,5 \cdot 600 = 300 \text{ mm}.$$

Skaičiuotiniai pagrindinės sijos tapatramių ilgiai imami lygūs 6 m (atstumas tarp ašių).

Projektuojama sijinės perdangos pagrindinė sija. Atstumas tarp sijų ašių $l_1 = 6,0$ m (1 pav.). Pagrindinės sijos skerspjūvis $b \times h = 0,3 \times 0,6$ m. Perdangos plokštės apkrovos pateiktos 2.1 skyriaus 1 lentelėje.

Kraštinė pagrindinė sija remiasi į mūro sieną. Atrėmimo zonos ilgis $c_2 = 250$ mm.

Reikia apskaičiuoti veikiančias sijų apkrovas ir sijos įrašas.

Apskaičiuojame pagrindinę siją veikiančias apkrovas:

$$G_{d,1} = g_d \cdot l_2 = 9,07 \cdot 6,0 = 54,42 \text{ kN};$$

$$Q_d = q_d \cdot l_2 = 13,0 \cdot 6,0 = 78 \text{ kN}.$$

Apskaičiuojame pagrindinės sijos (1 pav.) svorio sukeltą apkrovą:

$$G_{k,2} = (h_1 - h_3) \cdot b_1 \cdot l_3 \cdot \gamma \cdot g = (0,6 - 0,07) \cdot 0,3 \cdot 2,0 \cdot 2500 \cdot 9,81 = 7800 \text{ N} = 7,8 \text{ kN};$$

$$G_{d,2} = G_{k,2} \cdot \gamma_G = 7,8 \cdot 1,35 = 10,53 \text{ kN}.$$

Visa pagrindinę siją veikiančios apkrovos skaičiuotinė reikšmė

$$P_d = G_{d,1} + G_{d,2} + Q_d = 54,42 + 10,53 + 78 = 142,95 \text{ kN}.$$

4.2. Įrašų skaičiavimas

Nekarpytoji sija yra statiskai nesprenžiamas elementas. Statiskai nesprenžiamų gelžbetoninių sijų stiprumas apskaičiuojamas įvertinus įrašų persiskirstymą. Statiskai nesprenžiamose sijose įrašos persiskirsto dėl betono ir armatūros plastinių deformacijų. Elementų pjūviuose armatūroje įtempiams pasiekus takumo ribą, jame pasireiškia didžiulės plastinės deformacijos, atsiveria dideli plyšiai, elemento ašis išsikreivina.

Didinant apkrovą šiame pjūvyje įrašos nedidėja, čia atsiranda plastinis lankstas. Statiskai nesprenžiamose sijose atsiradus plastiniam lankstui sija nesuyra. Tolesnį apkrovos didėjimą užtikrina įrašų persiskirstymas tarp gretimų pjūvių. Tai gali būti įvertinta projektuojant monolitines sijines perdangas.

Atsižvelgiant į statiskai nesprenžiamų gelžbetoninių sijų darbą, monolitinės sijinės perdangos pagrindinių sijų įrašos apskaičiuojamos tokia tvarka:

1) Apskaičiuojami nuolatinės apkrovos (G) sukelti lenkimo momentai (M_{Gi}), įvertinant tamprųjį konstrukcijų darbą (17 pav.).

2) Apskaičiuojami kintamųjų apkrovų (Q) tamprieji lenkimo momentai (M_{Qi}). Skaičiuojant kintamosios apkrovos sukeltas įrašas turi būti nagrinėjami visi pavojingi apkrovų išdėstymo atvejai. Apskaičiuojami lenkimo momentai, kai kintamosios apkrovos sukelia didžiausius momentus ties atramomis (18 pav., b ir 19 pav., b), tada apskaičiuojamos įrašos, kai kintamosios apkrovos sukelia didžiausius lenkimo momentus tarpatramiuose (20 pav., b).

3) Sudedami nuolatinės apkrovos (G) (1 punktas) sukelti lenkimo momentai (M_{Gi}) su kintamosios apkrovos (Q) atskirų apkrovimo variantų sukeliamais lenkimo momentais (M_{Qi}) (18 pav., c; 19 pav., c; 20 pav., c).

4) Perskirstomi sijos lenkimo momentai apkrovimo variantui, kai jie yra didžiausi atramoje arba atramose. Atramoje, kurioje didžiausias lenkimo momentas (M_B), pridedame papildomą priešingo ženklo lenkimo momentą (M_{sB}), kuris leidžia suvienodinti lenkimo momentą atramoje su didžiausiu lenkimo momentu tarpatramyje ($M_{i,max}$). Lenkimo momentas atramoje (M_B) negali būti sumažintas daugiau kaip 30 %. Gretimose atramose lenkimo momentai (M_C), esant šiai apkrovai, suvienodinami su B atramoje perskirstytu lenkimo momentu (M_{PB}). Todėl šie lenkimo momentai bus $M_{PC} = M_{PB}$. Atsižvelgiant į aptartus principus, papildomų (perskirstančiųjų) lenkimo momentų diagramos parodytos 18 pav., d. Apskaičiuoti tampriame būvyje esančios konstrukcijos lenkimo momentai pavaizduoti 18 pav., c, sudedami su atitinkamais papildomais

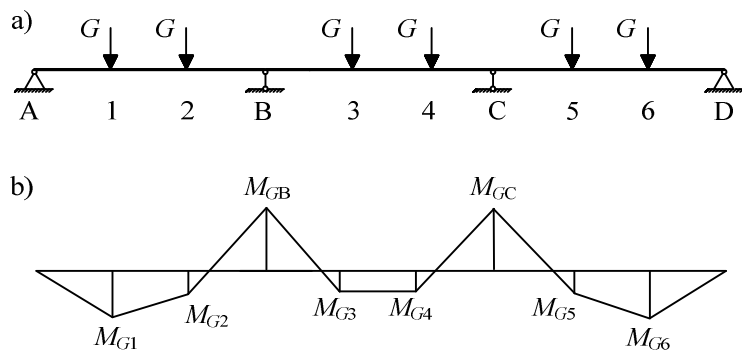
lenkimo momentais, parodytais 18 pav., d. Gauti perskirstytieji sijos lenkimo momentai parodyti 18 pav., e.

Kitame etape perskirstome to apkrovimo atvejo lenkimo momentus, kai jie yra didžiausi tarpatramiuose (20 pav.). Atramų (B ir C) lenkimo momentai yra padidinami (M_{sB} ir M_{sC}) ir prilyginami pirmajame etape perskirstytiesiems atramų lenkimo momentams M_{PB} ir M_{PC} (18 pav., e). Braižome papildomų (perskirstančiųjų) lenkimo momentų diagramą (20 pav., d). Apskaičiuoti tamprūs lenkimo momentai (20 pav., c) sudedami su papildomais (perskirstančiaisiais) lenkimo momentais (20 pav., d). Perskirstytųjų sijos lenkimo momentų diagrama parodyta 20 pav., e.

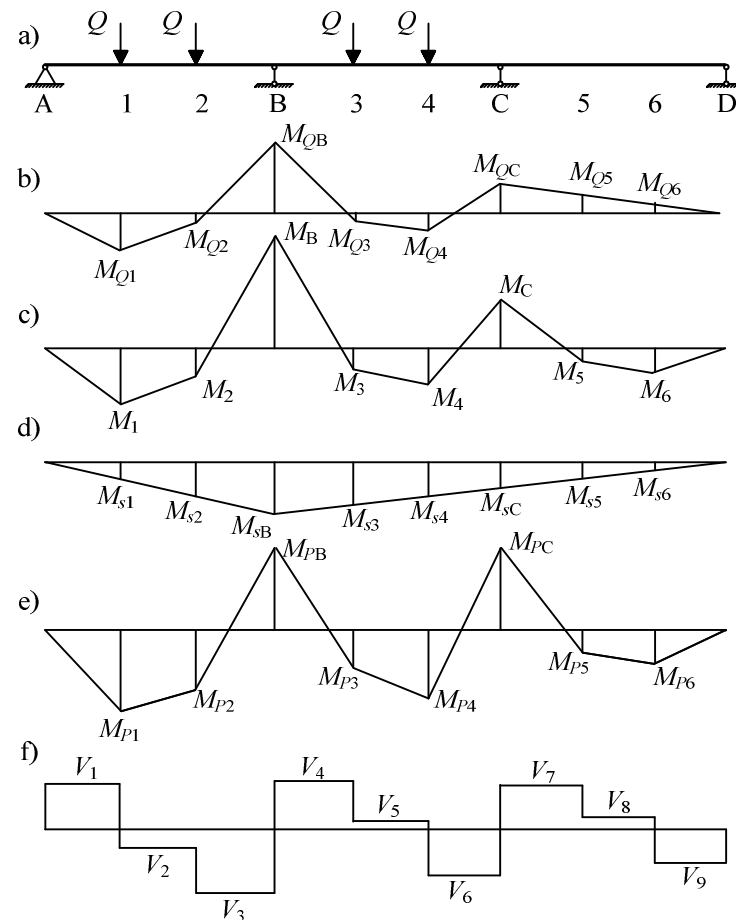
5) Pagal įvairiems apkrovimo variantams apskaičiuotus perskirstytuosius lenkimo momentus (18 pav., e; 19 pav., e; 20 pav., e.) braižome lenkimo momentų gaubtinę (21 pav.).

6) Pagal bendruosius statybinės mechanikos principus apskaičiuojame sijos skersines jėgas.

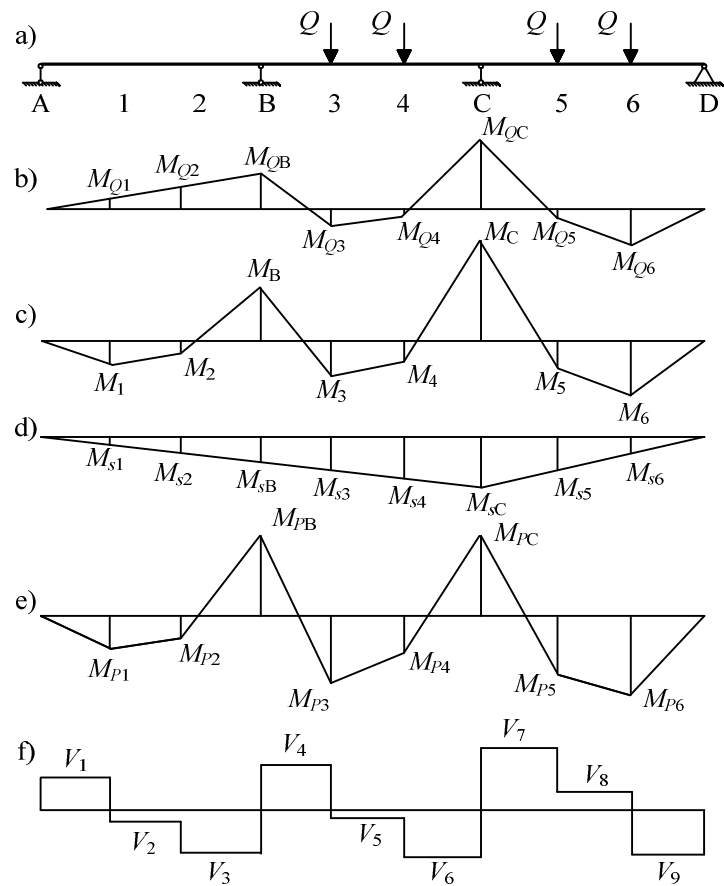
Pagrindinių sijų įrašas galima apskaičiuoti pagal 9 priede pateiktas lenteles, kai daugiaatramės sijos tarpatramiai apkrauti dviem arba trimis sutelktomis jėgomis.



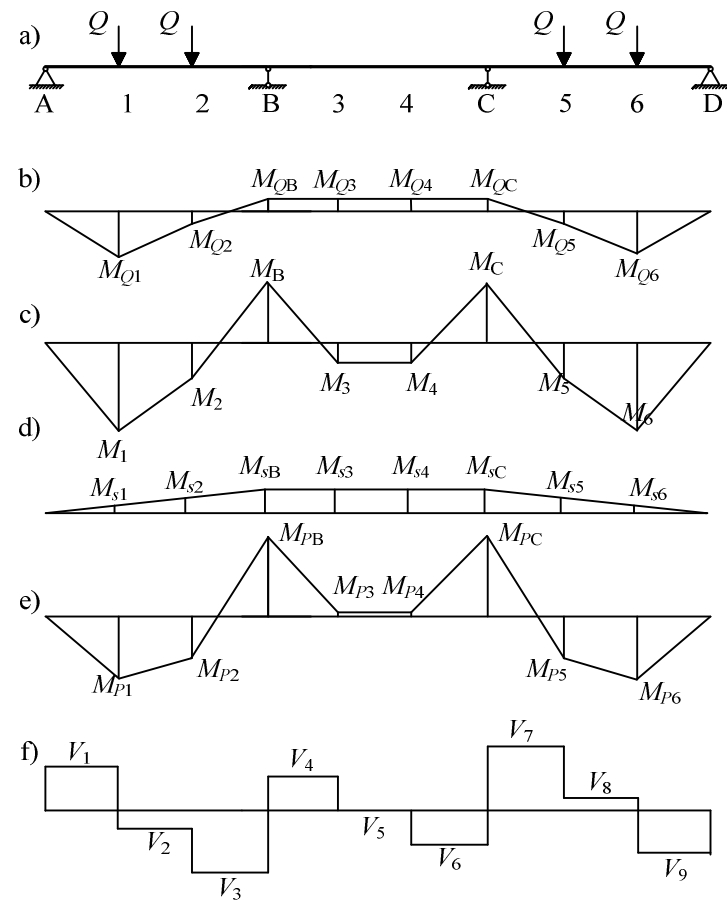
17 pav. Nuolatinės apkrovos (a) sukiamų lenkimo momentų diagrama (b)



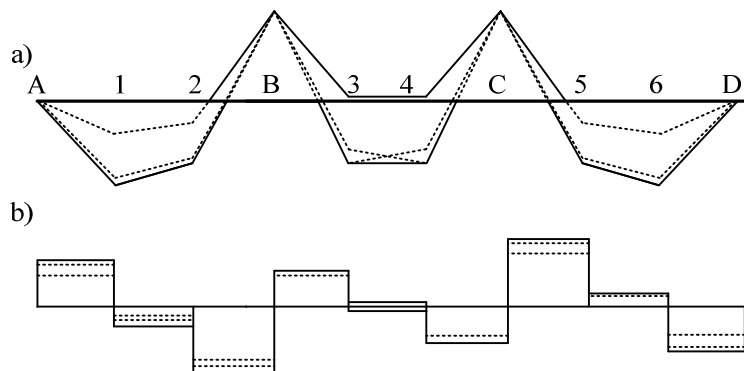
18 pav. Laikinių apkrovų (Q) sukeliama lenkimo momentai (b); lenkimo momentai (c), įvertinus laikinąsias ir nuolatinės apkrovas; papildomi lenkimo momentai (d); perskirstytieji lenkimo momentai (e); skersinės jėgos (f)



19 pav. Laikinių apkrovų (Q) sukeltami lenkimo momentai (b); lenkimo momentai (c), įvertinus laikinąsias ir nuolatines apkrovas; papildomi lenkimo momentai (d) ir perskirstytieji lenkimo momentai (e); skersinės jėgos (f)



20 pav. Laikinių apkrovų (Q) sukeltami lenkimo momentai (b); lenkimo momentai (c), įvertinus laikinąsias ir nuolatines apkrovas; papildomi lenkimo momentai (d) ir perskirstytieji lenkimo momentai (e); skersinės jėgos (f)



21 pav. Pagrindinės sijos lenkimo momentų (a) ir skersinių jėgų (b) gaubtinė

4.3. Armatūros skaičiavimo principai

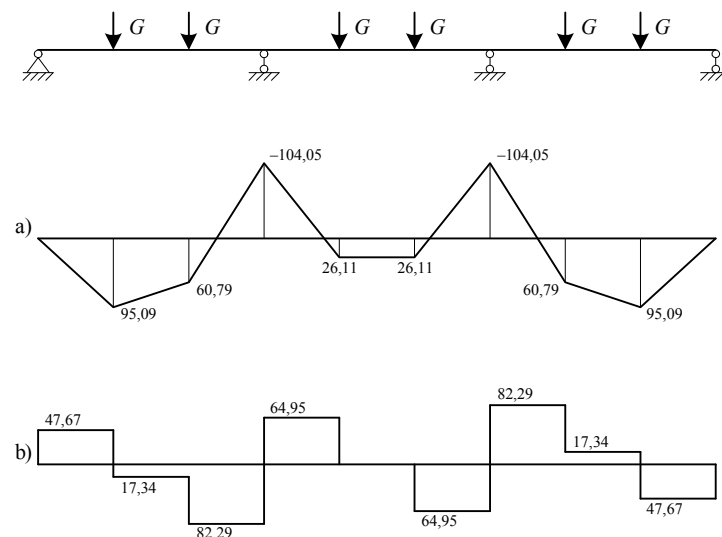
Pagal perskirstytųjų lenkimo momentų gaubtinėje nurodytas momentų reikšmes ir 3 skyriuje taikytus šalutinės sijos išilginės armatūros skaičiavimo principus apskaičiuojame pagrindinės sijos išilginę armatūrą. Sijos skersinę armatūrą apskaičiuojame pagal 3.5 skyriuje išdėstytus skaičiavimo principus. Išilginę ir skersinę armatūrą išdėstome pagal 3.7 skyriuje nurodytas konstravimo taisykles.

Pavyzdys

Naudodamiesi 9 priedo 1 ir 2 lentelėmis apskaičiuojame pagrindinės trijų tarpatramių nekarpytosios sijos įrašas. Sudauginę lentelėse pateiktus daugiklius su 4.1 skyriaus pavyzdyje apskaičiuotomis apkrovomis, nubraižome pagrindinės sijos lenkimo momentų ir skersinių jėgų diagramas.

Kiekvienam apkrovų deriniui skaičiuojamos įrašos ir momentų persiskirstymas.

Pagal įrašų derinių diagramas sudarome pagrindinės sijos lenkimo momentų ir skersinių jėgų gaubtinę.



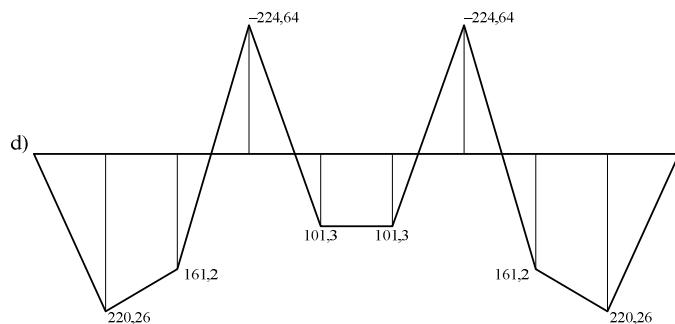
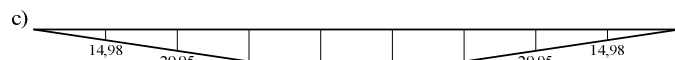
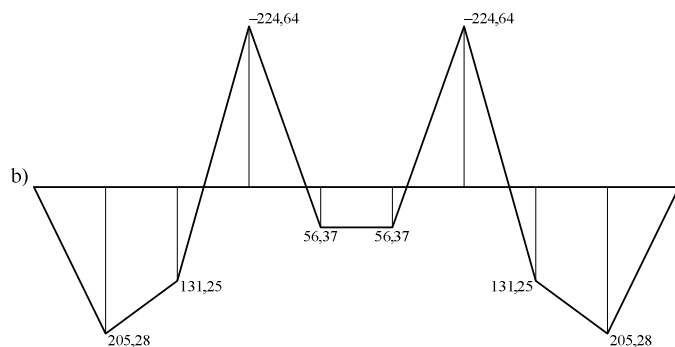
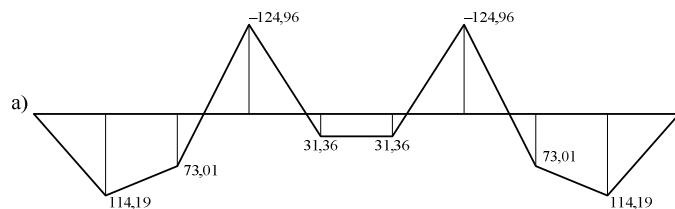
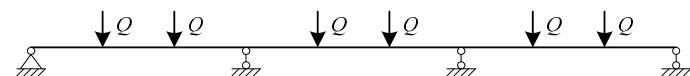
22 pav. Pagrindinės sijos lenkimo momentų (a) ir skersinių jėgų (b) diagrama, įvertinant nuolatinės apkrovas

22 pav. pateikta pagrindinės nekarpytosios sijos momentų ir skersinių jėgų diagramos.

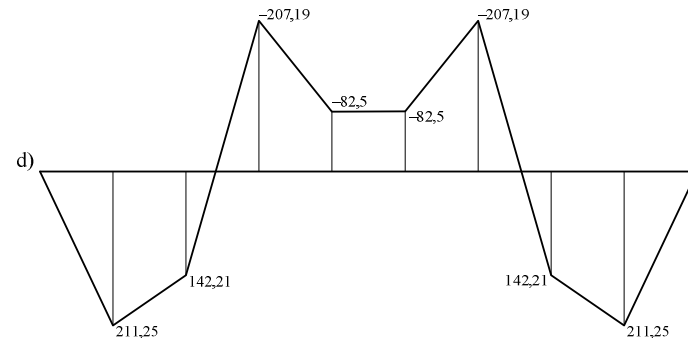
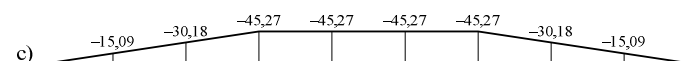
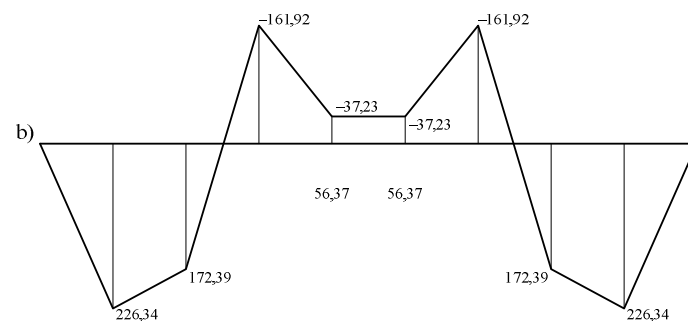
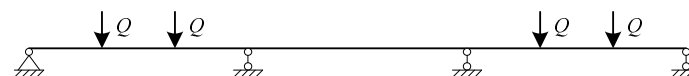
Kituose paveiksluose pateikiamos momentų diagramos nuo kintamųjų (laikinių) apkrovų (23–29 pav., a), suminės nuolatinės ir kintamosios apkrovos momentų diagramos (23–29 pav., b), momentų persiskirstymo diagramos (23–29 pav., c) bei galutinės kiekvieno įrašų derinio momentų diagramos (23–29 pav., c).

Pateiktos skersinių jėgų diagramos nuo laikinosios apkrovos (30–36 pav., a) bei suminės skersinių jėgų diagramos (30–36 pav., b).

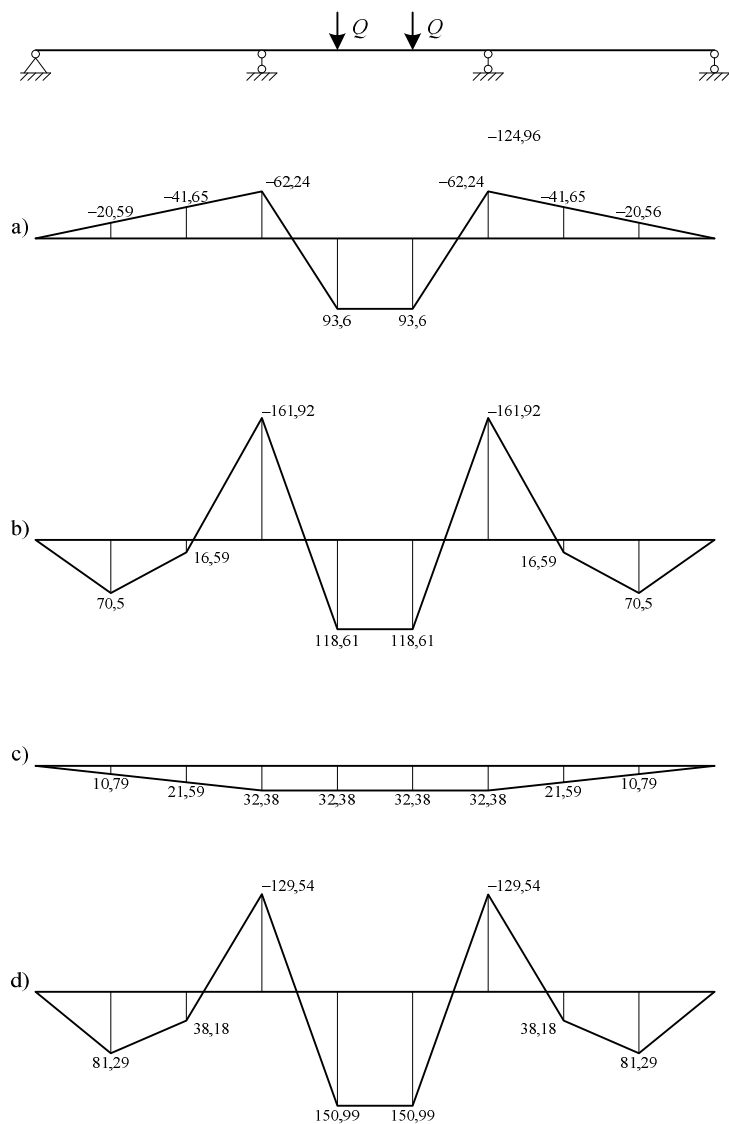
Sudaryta momentų ir skersinių jėgų gaubtinių diagrama (37 pav.), kurios duomenimis naudojames skaičiuodami pagrindinės sijos išilginę ir skersinę armatūrą.



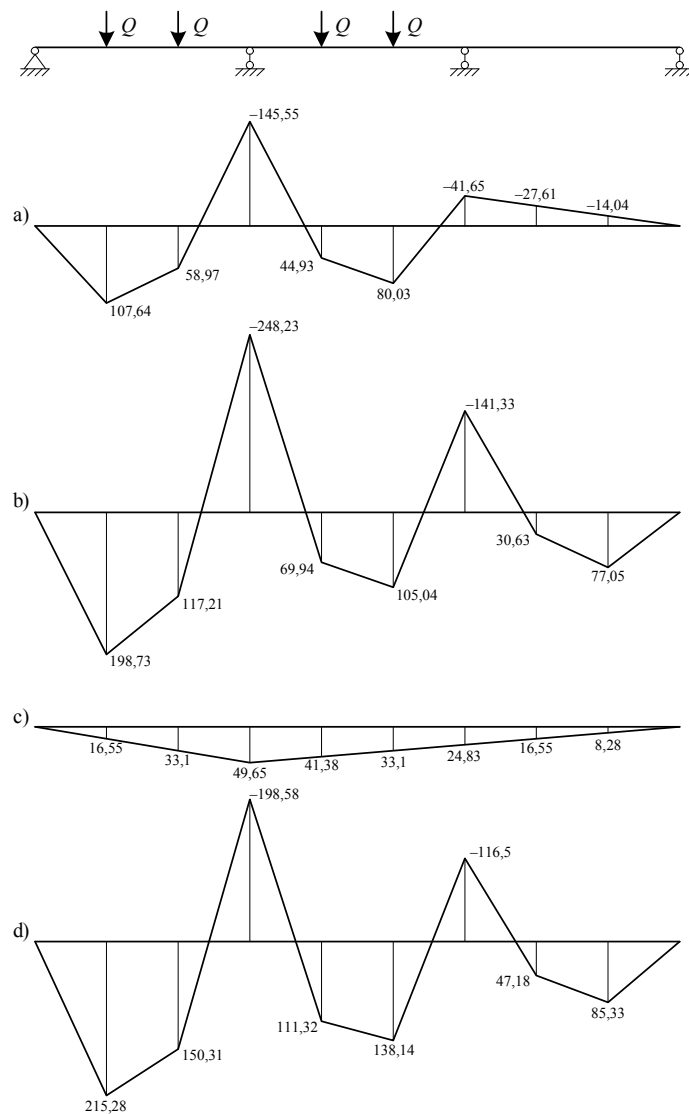
23 pav. Simetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltami lenkimo momentai (a); lenkimo momentai, įvertinus laikinąsias apkrovas ir nuolatines apkrovas (b); papildomi lenkimo momentai (c); perskirstytieji lenkimo momentai (d)



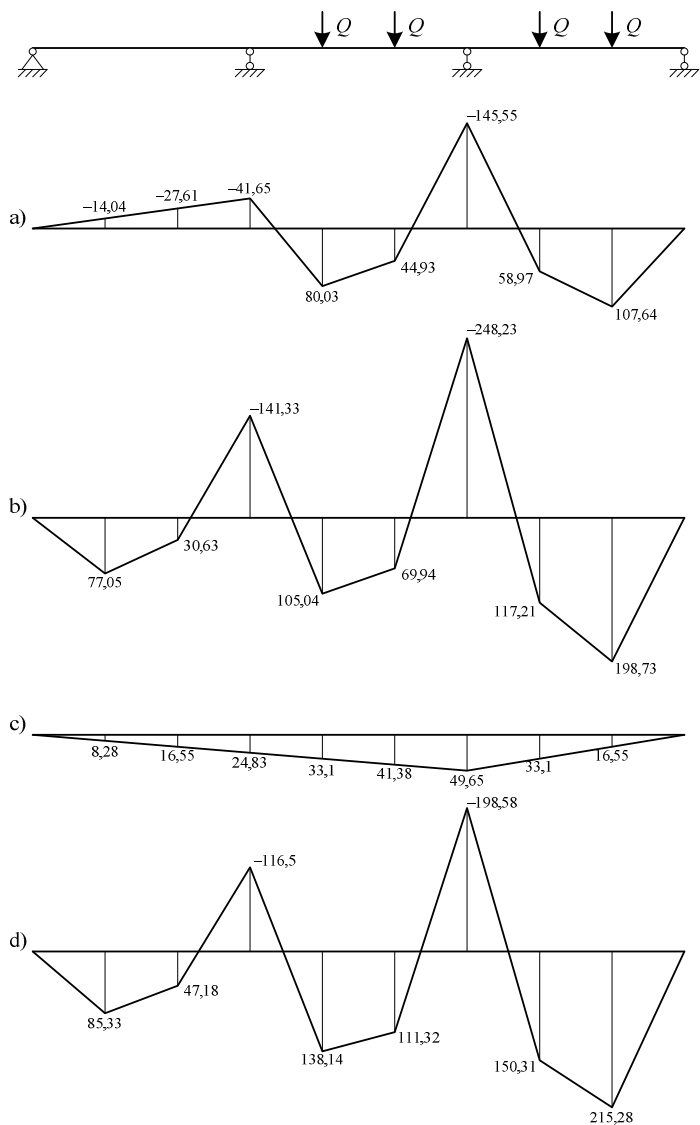
24 pav. Simetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltami lenkimo momentai (a); lenkimo momentai, įvertinus laikinąsias apkrovas ir nuolatines apkrovas (b); papildomi lenkimo momentai (c); perskirstytieji lenkimo momentai (d)



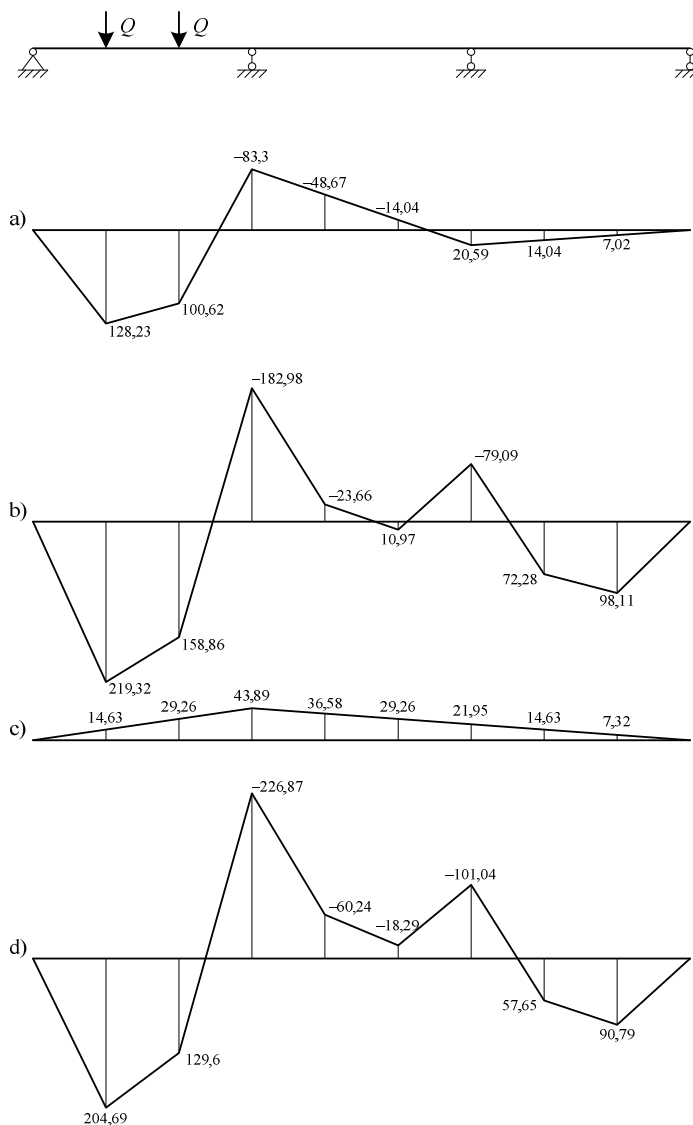
25 pav. Simetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltami lenkimo momentai (a); lenkimo momentai, įvertinus laikinąsias apkrovas ir nuolatines apkrovas (b); papildomi lenkimo momentai (c); perskirstytieji lenkimo momentai (d)



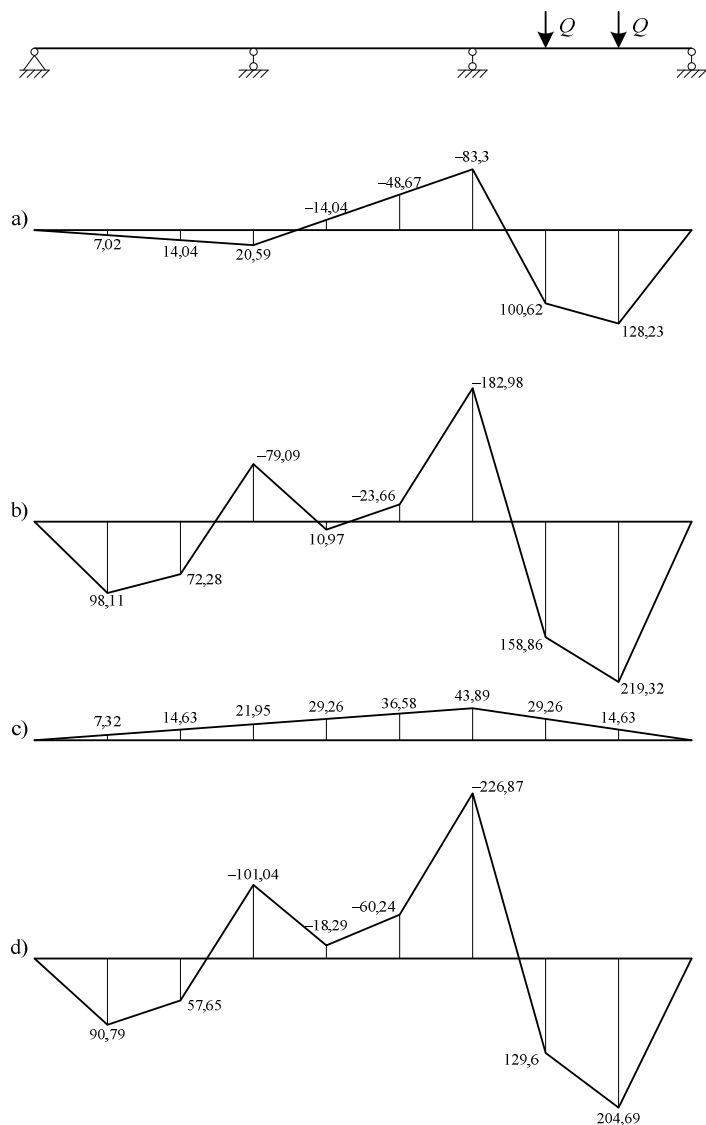
26 pav. Nesimetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltami lenkimo momentai (a); lenkimo momentai, įvertinus laikinąsias apkrovas ir nuolatines apkrovas (b); papildomi lenkimo momentai (c); perskirstytieji lenkimo momentai (d)



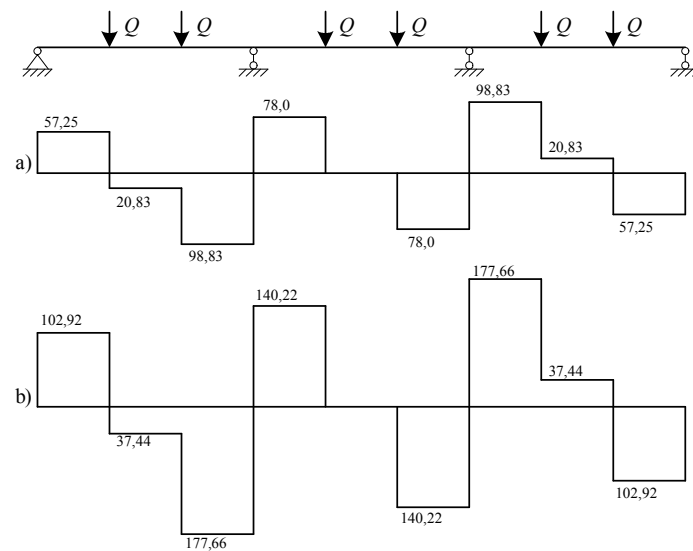
27 pav. Nesimetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltami lenkimo momentai (a); lenkimo momentai, įvertinus laikinąsias apkrovas ir nuolatines apkrovas (b); papildomi lenkimo momentai (c); perskirstytieji lenkimo momentai (d)



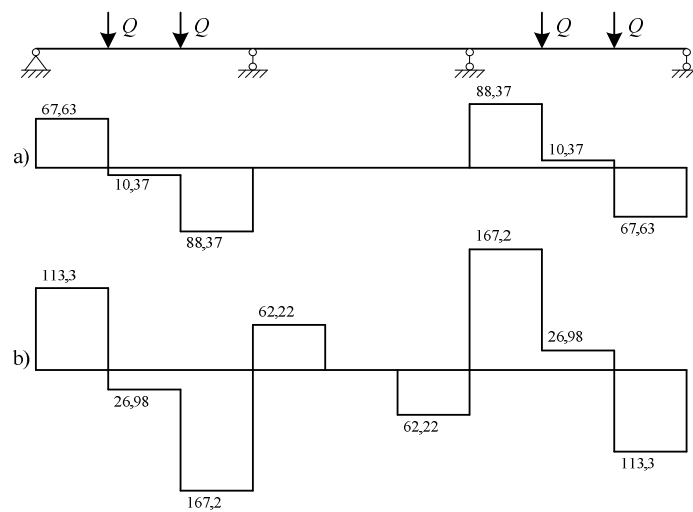
28 pav. Nesimetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltami lenkimo momentai (a); lenkimo momentai, įvertinus laikinąsias apkrovas ir nuolatines apkrovas (b); papildomi lenkimo momentai (c); perskirstytieji lenkimo momentai (d)



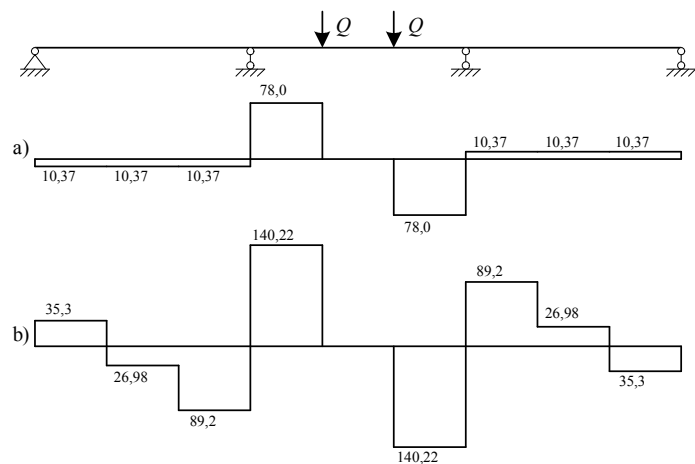
29 pav. Nesimetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeliama lenkimo momentai (a); lenkimo momentai, įvertinus laikinąsias apkrovas ir nuolatines apkrovas (b); papildomi lenkimo momentai (c); perskirstytieji lenkimo momentai (d)



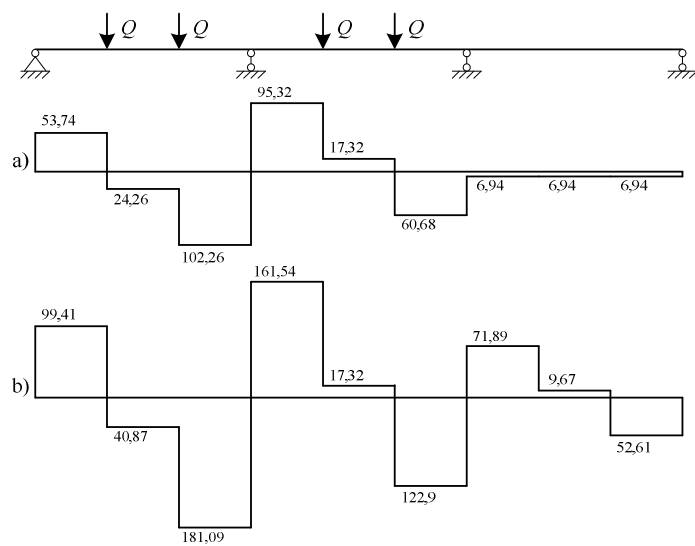
30 pav. Simetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeliama skersinė jėgos (a); skersinė jėgos, įvertinus laikinąsias ir nuolatines apkrovas (b)



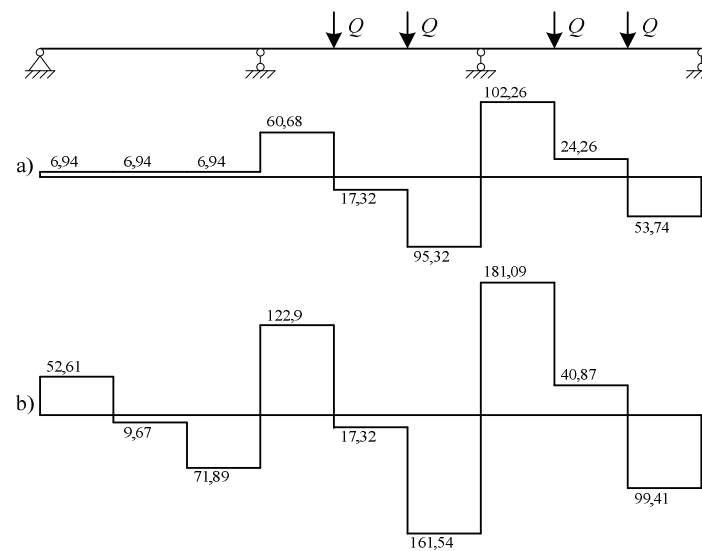
31 pav. Simetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeliama skersinė jėgos (a); skersinė jėgos, įvertinus laikinąsias ir nuolatines apkrovas (b)



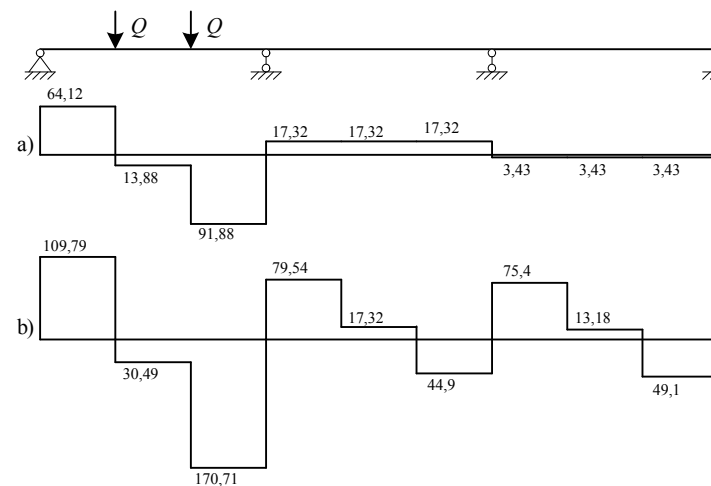
32 pav. Simetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltos skersinės jėgos (a); skersinės jėgos, įvertinus laikinąsias ir nuolatines apkrovas (b)



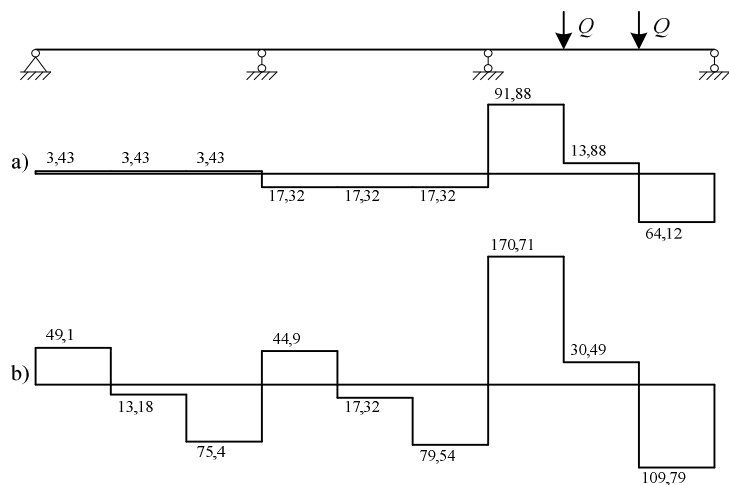
33 pav. Nesimetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltos skersinės jėgos (a); skersinės jėgos, įvertinus laikinąsias ir nuolatines apkrovas (b)



34 pav. Nesimetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltos skersinės jėgos (a); skersinės jėgos, įvertinus laikinąsias ir nuolatines apkrovas (b)



35 pav. Nesimetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltos skersinės jėgos (a); skersinės jėgos, įvertinus laikinąsias ir nuolatines apkrovas (b)



36 pav. Nesimetriškai išdėstytų laikinųjų apkrovų sukeltos skersinės jėgos (a); skersinės jėgos, įvertinus laikinąsias ir nuolatinės apkrovas (b)

Monolitinės sijinės perdangos pagrindinių sijų įrašos yra apskaičiuotos pagal 9 priedo 1 ir 2 lenteles. Pagrindinių sijų betonas – C16/20 klasės.

Reikia apskaičiuoti reikiamą pagrindinės sijos skerspjūvio aukštį. Parenkame santykinį gniuždomosios zonos aukštį

$$\xi_{eff} = 0,35.$$

Apskaičiuojame

$$\mu_{Ed,s} = \xi_{eff} (1 - 0,5 \cdot \xi_{eff}) = 0,35 (1 - 0,5 \cdot 0,35) = 0,289.$$

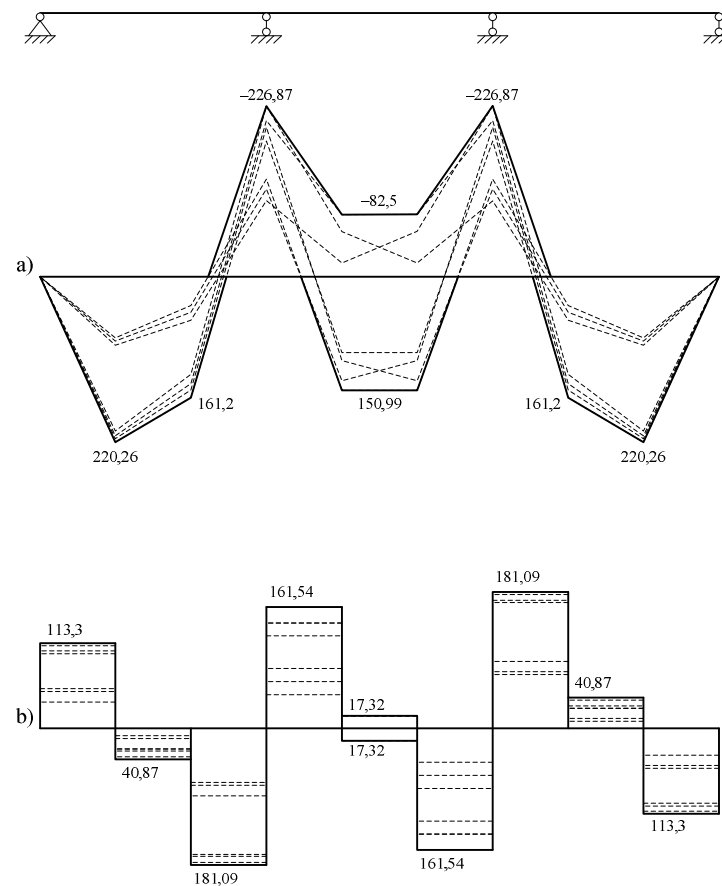
Sijos naudingasis skerspjūvio aukštis pagal (46):

$$d = \sqrt{\frac{226,87}{0,289 \cdot 9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,3}} = 0,522 \text{ m.}$$

Sijos skerspjūvio aukštis pagal (47):

$$h = 0,522 + 0,025 + \frac{0,02}{2} = 0,557 \text{ m.}$$

Sijos skerspjūvio aukštį paliekame anksčiau parinktą $h = 0,6 \text{ m}$. Sijos plotis $b = 0,3 \text{ m}$.



37 pav. Pagrindinės sijos lenkimo momentų (a) ir skersinių jėgų (b) gaubtinė

Projektuojama monolitinės sijinės perdangos pagrindinė sija. Pagal gautus pagrindinės sijos lenkimo momentus reikia apskaičiuoti

ir išdėstyti išilginę pagrindinę armatūrą. Pagrindinės sijos didžiausi lenkimo momentai:

$$M_{Ed,1} = 220,26 \text{ kN} \cdot \text{m}; \quad M_{Ed,B} = -220,26 \text{ kN} \cdot \text{m};$$

$$M_{Ed,3} = 150,99 \text{ kN} \cdot \text{m}; \quad M_{Ed,3} = -81,5 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Sijos betonas – C16/20 klasės.

Sijos skerspjūvis $h \times b = 0,6 \times 0,3 \text{ m}$.

Apskaičiuojame armatūros plotą sijos tarpatramiuose (didžiausių lenkimo momentų zonoje). Tarpatramyje sija armuojama S400 klasės armatūra ($f_{yd} = 365 \text{ MPa}$).

Sijos lentynos storis $h_f = 0,07 \text{ m}$. Skaičiuotinis tęjinio skerspjūvio elemento lentynos plotis į abi puses nuo briaunos turi būti ne didesnis kaip 1/6 elemento ilgio ir ne didesnis kaip 1/2 atstumo tarp išilginių briaunų, kai tarp išilginių briaunų yra skersinės briaunos arba $h_f \geq 0,1h$:

$$\begin{cases} b_{eff} \leq 0,3 + \frac{1}{3}6,0 = 2,3 \text{ m}; \\ b_{eff} \leq 0,3 + 6,0 = 6,3 \text{ m}, \end{cases}$$

(kadangi $0,1 \cdot h = 0,1 \cdot 0,4 = 0,04 < h_f = 0,07 \text{ m}$).

Skaičiuojamasis sijos lentynos plotis

$$b_{eff} = 2,3 \text{ m}.$$

Sijos skerspjūvio naudingasis aukštis

$$d = h_1 - c - \frac{\varnothing}{2} = 0,6 - 0,025 - \frac{0,025}{2} = 0,562 \text{ m}.$$

Apskaičiuojama

$$\begin{aligned} M_{Rd,f} &= f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot h_f (d - 0,5h_f) = \\ &= 9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3 \cdot 0,07 (0,562 - 0,5 \cdot 0,07) = 814,53 \text{ kN} \cdot \text{m}. \end{aligned}$$

Kadangi $M_{Rd,f} > M_{Ed,1} (> M_{Ed})$, tarpatramyje sijos skerspjūvio neutralioji ašis yra lentynoje.

Pirmajame (trečiajame) tarpatramyje (ties tarpatramio viduriu) armatūros plotas:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed,1}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d^2} = \frac{220,26}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3 \cdot 0,562^2} = 0,032;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,032} = 0,033 < \xi_{lim} = 0,635.$$

Santykinio gniuždomosios zonos aukščio ribinė reikšmė:

$$\xi_{lim} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s,lim}}{\sigma_{sc,lim}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,773}{1 + \frac{365}{500} \left(1 - \frac{0,773}{1,1}\right)} = 0,635;$$

$$\omega = \alpha - \beta \cdot f_{cd} = 0,85 - 0,008 \cdot 9,6 = 0,773;$$

$$\sigma_{s,lim} = f_{yd} = 365 \text{ MPa}; \quad \sigma_{sc,lim} = 500 \text{ MPa};$$

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot \xi_{eff} \cdot d}{f_{yd}} = \frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3 \cdot 0,033 \cdot 0,562}{365 \cdot 10^3} =$$

$$11,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 11,22 \text{ cm}^2.$$

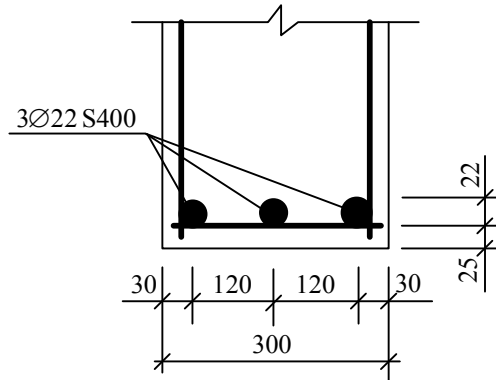
Prenkama tarpatramio armatūros strypai (5 priedas).

Pirmajame (trečiajame) tarpatramyje sija armuojama 3 Ø 22 S400 klasės armatūra, kurios tikrasis skerspjūvio plotas $A_{s1,f} = 11,4 \text{ cm}^2$.

Armatūros strypai išdėstomi viename lygyje. Atstumas – $a_{s1} = 36 \text{ mm}$.

Įvertindami tikrąjį naudingąjį skerspjūvio aukštį, patikriname sijos stiprį statmename pjūvyje:

$$x_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1}}{f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot 11,4 \cdot 10^{-4}}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3} = 0,019 \text{ m};$$



$$\xi_{eff} = \frac{x_{eff}}{d} = \frac{0,019}{0,564} = 0,034 < \xi_{lim} = 0,635;$$

$$M_{Rd} = f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot x_{eff} (d - 0,5x_{eff}) = 9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3 \cdot 0,019 (0,564 - 0,5 \cdot 0,019) = 232,62 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Sijos stipris pirmajame tarpatramyje yra pakankamas, kadangi

$$M_{Ed,1} = 220,26 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{Rd} = 232,62 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Antrajame tarpatramyje (ties tarpatramio viduriu) reikiamas armatūros plotas:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d^2} = \frac{150,99}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3 \cdot 0,562^2} = 0,022;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,022} = 0,022 < \xi_{lim} = 0,635;$$

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot \xi_{eff} \cdot d}{f_{yd}} = \frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3 \cdot 0,022 \cdot 0,562}{365 \cdot 10^3} =$$

$$7,48 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 7,48 \text{ cm}^2.$$

Prenkami tarpatramio armatūros strypai (5 priedas).

Antrajame tarpatramyje sija armuojama 2 Ø 22 S400 armatūra, kurios faktinis skerspjūvio plotas $A_{s1,f} = 7,6 \text{ cm}^2$. Kadangi armatūra išdėstyta viename lygyje ir jos faktinis skerspjūvio plotas didesnis už reikiamą plotą, sijos stiprio netikriname.

Pagrindinių sijų armatūra atramose. Šiuose pjūviuose sijos lentynos yra tempiamojoje zonoje. Todėl sija skaičiuojama kaip stačiakampis elementas (12 pav.).

Sijos išilginė pagrindinė armatūra atramoje B (C):

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed,B}}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d^2} = \frac{226,87}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562^2} = 0,249;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,249} = 0,291 < \xi_{lim} = 0,635;$$

$$\xi_{lim} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s,lim}}{\sigma_{sc,lim}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,773}{1 + \frac{365}{500} \left(1 - \frac{0,773}{1,1}\right)} = 0,635;$$

$$\omega = \alpha - \beta \cdot f_{cd} = 0,85 - 0,008 \cdot 9,6 = 0,773;$$

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b_w \cdot \xi_{eff} \cdot d}{f_{yd}} = \frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,291 \cdot 0,562}{365 \cdot 10^3} =$$

$$9,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 9,71 \text{ cm}^2.$$

Atramoje B (C) pagrindinės sijos tempiamoji zona yra armuojama 2 Ø 25 S400 strypais.

Pagrindinių sijų armatūra antrojo tarpatramio viršuje. Šiame pjūvyje sijos lentyna yra tempiamojoje zonoje. Todėl sija skaičiuojama kaip stačiakampis elementas (12 pav.).

Sijos išilginė pagrindinė armatūra antrojo tarpatramio viršuje:

$$\mu_{Ed,s} = \frac{M_{Ed,B}}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d^2} = \frac{82,5}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562^2} = 0,091;$$

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,091} = 0,096 < \xi_{lim} = 0,635;$$

$$\xi_{\text{lim}} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s,\text{lim}}}{\sigma_{sc,\text{lim}}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,773}{1 + \frac{365}{500} \left(1 - \frac{0,773}{1,1}\right)} = 0,635;$$

$$\omega = \alpha - \beta \cdot f_{cd} = 0,85 - 0,008 \cdot 9,6 = 0,773;$$

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot b_w \cdot \xi_{\text{eff}} \cdot d}{f_{yd}} = \frac{9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,096 \cdot 0,562}{365 \cdot 10^3} =$$

$$4,70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 4,70 \text{ cm}^2.$$

Antrajame tarpatramyje pagrindinės sijos galima tempiamoji zona yra armuojama 1 Ø 25 S400 strypu.

Pavyzdys

Projektuojama monolitinės sijinės perdangos pagrindinė sija. Pagal gautas pagrindinės sijos didžiausias skersines jėgas reikia apskaičiuoti ir išdėstyti skersinę armatūrą. Pagrindinės sijos didžiausia skersinė jėga yra ties atrama B: $V_{Ed,B,\text{right}} = -181,09 \text{ kN}$. Sijos betonas – C16/20 klasės. Siją numatoma armuoti S240 klasės skersine armatūra, kurios stipris $f_{ywd} = 157 \text{ MPa}$.

Sija bus armuojama Ø 8 S240 klasės armatūra.

Skaičiuotinis betono gniuždomasis stipris

$$f_{cd} = \alpha \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,9 \cdot 1 \cdot 16 / 1,5 = 9,6 \text{ MPa}.$$

Skaičiuotinis betono tempiamasis stipris

$$f_{ctd} = \alpha \cdot \alpha_{ct} \cdot f_{ctk} / \gamma_c = 0,9 \cdot 1 \cdot 1,3 / 1,5 = 0,780 \text{ MPa}.$$

Kadangi ašinės jėgos arba armatūros išankstinio apgniuždymo jėgos neveikia, tai $\varphi_n = 0$.

Kadangi perdanga yra iš sunkiojo betono, tai

$$\varphi_{c2} = 2; \varphi_{c3} = 0,6; \varphi_{c3} = 1,5.$$

Atsižvelgiant į konstravimo reikalavimus parenkamas skersinės armatūros žingsnis.

$$s_w \leq \frac{h}{3} = \frac{0,6}{3} = 0,2 \text{ m}.$$

Skersinės armatūros žingsnis $s_w = 0,2 \text{ m}$, skersinės armatūros skerspjūvio plotas pjūvyje

$$A_{sw} = n \cdot A_{sw1} = 2 \cdot 0,503 = 1,01 \text{ cm}^2 = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2,$$

kadangi sijoje yra dvi skersinių strypų eilės, todėl $n = 2$.

Parinktos skersinės armatūros intensyvumas

$$v_{sw} = \frac{157 \cdot 10^3 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4}}{0,2} = 79,29 \text{ kN/m}.$$

Veikianti siją laikinoji apkrova q_1 yra ekvivalentinė, todėl apskaičiuojama

$$p_{d1} = \frac{G_d}{l_3} + 0,5 \cdot \frac{Q_d}{l_3} = \frac{64,95}{2,0} + 0,5 \cdot \frac{78,0}{2,0} = 51,98 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Tikrinama sąlyga

$$p_{d1} = 51,98 > 0,563 \cdot v_{sw} = 0,563 \cdot 79,29 = 44,64 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Šiuo atveju pavojingojo įstrižojo pjūvio projekcija į išilginę sijos ašį

$$c = \sqrt{\frac{\varphi_{c2}(1 + \varphi_n) f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2}{p_{d1} + v_{sw}}} = \sqrt{\frac{2(1+0) 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562^2}{51,98 + 79,29}} =$$

$$1,06 \text{ m} < c_{\text{max}} = \frac{\varphi_{c2}}{\varphi_{c3}} d = \frac{2}{0,6} \cdot 0,562 = 1,873 \text{ m}.$$

Todėl $c = 1,06 \text{ m}$.

Apskaičiuojama

$$V_{Ed} = V_{Ed,B,right} - p_{d1} \cdot c = 181,09 - 51,98 \cdot 1,06 = 125,99 \text{ kN}.$$

Tikrinamos (70), (71) ir (72) sąlygos:

$$V_{Ed} = 125,99 > 1,5(1+0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562^2 / 1,06 = 104,59 \text{ kN};$$

$$V_{Ed} = 125,99 > 0,6(1+0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562 = 78,9 \text{ kN};$$

$$V_{Ed} = 125,99 < 2,5 \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562 = 328,77 \text{ kN}.$$

Šios sąlygos rodo, kad skersinė armatūra yra reikalinga.

Apskaičiuojama skersinė jėga, kurią atlaiko sijos gniuždomosios zonos betonas (62):

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= \varphi_{c2}(1+\varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2 / c = \\ &2(1+0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562^2 / 1,06 = 139,45 \text{ kN} > \\ V_{Rd,c,min} &= \varphi_{c3}(1+\varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d = \\ &2(1+0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562 = 78,9 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Apskaičiuojama pavoingojo įstrižojo plyšio projekcija į išilginę sijos ašį

$$\begin{aligned} c_0 &= \sqrt{\frac{\varphi_{c2}(1+\varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2}{v_{sw}}} = \\ &\sqrt{\frac{2(1+0)0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562^2}{79,29}} = 1,365 \text{ m}. \end{aligned}$$

Tikrinama:

$$c_0 = 1,365 \text{ m} > 2 \cdot 0,562 = 1,124 \text{ m};$$

$$c_0 = 1,365 \text{ m} < 1,873 \text{ m};$$

$$c_0 = 1,365 \text{ m} > 0,562 \text{ m}.$$

Todėl $c_0 = 2 \cdot d = 1,124 \text{ m}$.

Apskaičiuojamas skersinės armatūros intensyvumas:

$$v_{sw} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,c}}{c_0} = \frac{181,09 - 139,45}{1,124} = 37,05 \text{ kN/m};$$

$$\begin{aligned} v_{sw} &= 37,05 \text{ kN/m} < v_{sw,min} = \varphi_{c3}(1+\varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w / 2 = \\ &0,6(1+0) \cdot 0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,3 / 2 = 70,2 \text{ kN/m}. \end{aligned}$$

Todėl $v_{sw} = v_{sw,min} = 70,2 \text{ kN/m}$.

Apskaičiuojamas sijos skersinės armatūros žingsnis

$$\begin{aligned} s_w &= f_{ywd} \cdot A_{sw} / v_{sw} = 157 \cdot 10^3 \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} / 70,2 = 0,226 \text{ m} < \\ s_{w,max} &= 0,75\varphi_{c2}(1+\varphi_n)f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2 / V_{Ed} = \\ &0,75(1+0)0,78 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562^2 / 181,09 = 0,306 \text{ m}. \end{aligned}$$

Remiantis konstravimo taisyklėmis reikia, kad skersinės armatūros žingsnis būtų $s_w \leq 0,2 \text{ m}$, todėl projektuojamoje sijoje skersinė armatūra $2 \varnothing 8 \text{ S240}$ yra išdėstoma $s_w = 200 \text{ mm}$ žingsniu. Patikrinama, ar sienelė nebus sugniuždyta anksčiau, negu bus pasiektas skersinės armatūros stipris

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= 181,09 \leq 0,3 \cdot \varphi_{w1} \cdot \varphi_{c1} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d = \\ &0,3 \cdot 1,059 \cdot 0,904 \cdot 9,6 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,562 = 464,85 \text{ kN}, \end{aligned}$$

čia

$$\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha \cdot \rho_w = 1 + 5 \cdot 7,07 \cdot 0,00168 = 1,059 < 1,3;$$

$$\alpha = \frac{20,5 \cdot 10^4}{29 \cdot 10^3} = 7,07; \quad \rho_w = \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 0,2} = 0,00168;$$

$$\varphi_{c1} = 1 - 0,01 \cdot 9,6 = 0,904.$$

Sijos sienelės stipris yra pakankamas.

Apskaičiuotu žingsniu skersinė armatūra išdėstoma sijos atraminėje zonoje. Vidurinėje sijos tarpatramio dalyje skersinė armatūra

išdėstoma pagal konstravimo taisykles – $s_w \leq \frac{3}{4}h$ ir $s_w \leq 500$ mm žingsniu.

Todėl sijos vidurinėje dalyje skersinė armatūra $\varnothing 8$ S240 išdėstoma $s_w \leq \frac{3}{4} \cdot 0,6 = 0,45$ m = 450 mm žingsniu.

Pavyzdys

4.1–4.3 skyriuose pateiktuose pavyzdžiuose apskaičiuotos pagrindinių sijų įrašos ir armatūra. Lenkimo momentų gaubtinės reikšmės pateiktos 37 pav. Išilginė pagrindinė sijos armatūra pirmajame ir trečiajame tarpatramiuose – $3 \varnothing 22$ S400 armatūra. Antrajame tarpatramyje $2 \varnothing 22$ S400 armatūra. Skersinė armatūra $\varnothing 8$ S240 atramų zonose, $s_w = 200$ mm.

Reikia sudaryti šalutinės sijos pirmojo tarpatramio laikomosios galios gaubtinę.

Apskaičiuojamas $2 \varnothing 22$ S400 išilginės armatūros atlaikomasis momentas:

$$x_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1}}{f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot 7,6 \cdot 10^{-4}}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3} = 0,013 \text{ m};$$

$$\xi_{eff} = \frac{x_{eff}}{d} = \frac{0,013}{0,564} = 0,023 < \xi_{lim} = 0,635,$$

čia $d = h - a_{s1} = 0,6 - 0,036 = 0,564$ m;

$$M_{Rd,2\varnothing 22} = f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot x_{eff} (d - 0,5x_{eff}) = 9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3 \cdot 0,013 (0,564 - 0,5 \cdot 0,013) = 160,02 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Pagrindinės išilginės armatūros strypai sijos skerspjūvyje turi būti išdėstyti simetriškai, todėl norėdami sumažinti armatūros sąnaudas turime nutraukti $1 \varnothing 22$ S400 strypą. Apskaičiuojamas $1 \varnothing 22$ S400 išilginės armatūros atlaikomasis momentas:

$$x_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1}}{f_{cd} \cdot b_{eff}} = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot 3,801 \cdot 10^{-4}}{9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3} = 0,006 \text{ m};$$

$$\xi_{eff} = \frac{x_{eff}}{d} = \frac{0,006}{0,564} = 0,011 < \xi_{lim} = 0,635;$$

$$M_{Rd,1\varnothing 22} = f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot x_{eff} (d - 0,5x_{eff}) = 9,6 \cdot 10^3 \cdot 2,3 \cdot 0,006 (0,564 - 0,5 \cdot 0,006) = 74,32 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

Lenkimo momentų gaubtinėje pagal mastelį atidedame $M_{Rd,2\varnothing 22}$ ir $M_{Rd,1\varnothing 22}$ reikšmes. Per šiuos taškus nubrėžiame liniją, horizontalią sijos ašiai. Šių tiesių susikirtimo su lenkimo momentų diagrama taškai yra teoriniai strypų nutraukimo taškai.

Nutraukiamo $1 \varnothing 22$ S400 strypo inkaravimo ilgis:

$$\begin{cases} l_{bd} \geq 0,5h + 20\varnothing = 0,5 \cdot 600 + 20 \cdot 20 = 740 \text{ mm}; \\ l_{bd} \geq \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_4 \cdot l_b = 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1\,635 = 1\,145 \text{ mm}; \\ l_{bd} \geq l_{b,min} = 981 \text{ mm}, \end{cases}$$

čia $\alpha_1 = 1,0$ (iš 8 priedo); $\alpha_2 = 1 - 0,15(25 - 3 \cdot 22)/22 = 1,28$; $\alpha_2 \leq 1,0$; $\alpha_2 \geq 0,7$, todėl $\alpha_2 = 1,0$ (iš 8 priedo); $\alpha_4 = 0,7$ (iš 8 priedo).

$$l_b = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{365}{1,228} = 1\,635 \text{ mm},$$

čia $\varnothing = 22$ mm; $\sigma_{sd} = f_{yd} = 365$ MPa;

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,78 = 1,228 \text{ MPa},$$

čia $\eta_1 = 0,7$; $\eta_2 = 1,0$; $f_{ctd} = 0,78$ MPa.

Mažiausias inkaravimo ilgis:

$$\left. \begin{aligned} l_{b,\min} &> 0,6 \cdot l_b = 0,6 \cdot 1\,635 = 981 \text{ mm}; \\ l_{b,\min} &> 15 \cdot \varnothing = 15 \cdot 22 = 330 \text{ mm}; \\ l_{b,\min} &> 100 \text{ mm}. \end{aligned} \right\}$$

Iš čia mažiausias inkaravimo ilgis $l_{b,\min} = 981$ mm. Atsižvelgiant į gautus inkaravimo ilgio skaičiavimo rezultatus, strypų pratęsimo ilgiai $l_{bd} = 1\,145$ mm.

Norėdami nustatyti 2 $\varnothing 25$ S400 strypų atramoje nutraukimo vietą, nustatome taško padėtį. Tai strypų teorinio nutraukimo taškas. Apskaičiuojame 2 $\varnothing 25$ strypų pratęsimo ilgį:

$$\left\{ \begin{aligned} l_{bd} &\geq 0,5h + 20\varnothing = 0,5 \cdot 600 + 20 \cdot 25 = 800 \text{ mm}; \\ l_{bd} &\geq \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_4 \cdot l_b = 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1\,858 = 1\,300 \text{ mm}; \\ l_{bd} &\geq l_{b,\min} = 1\,115 \text{ mm}, \end{aligned} \right.$$

čia $\alpha_1 = 1,0$ (iš 8 priedo); $\alpha_2 = 1 - 0,15(25 - 3 \cdot 25)/25 = 1,3$; $\alpha_2 \leq 1,0$; $\alpha_2 \geq 0,7$, todėl $\alpha_2 = 1,0$ (iš 8 priedo); $\alpha_4 = 0,7$ (iš 8 priedo).

$$l_b = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{25}{4} \cdot \frac{365}{1,228} = 1\,858 \text{ mm},$$

čia $\varnothing = 25$ mm; $\sigma_{sd} = f_{yd} = 365$ MPa;

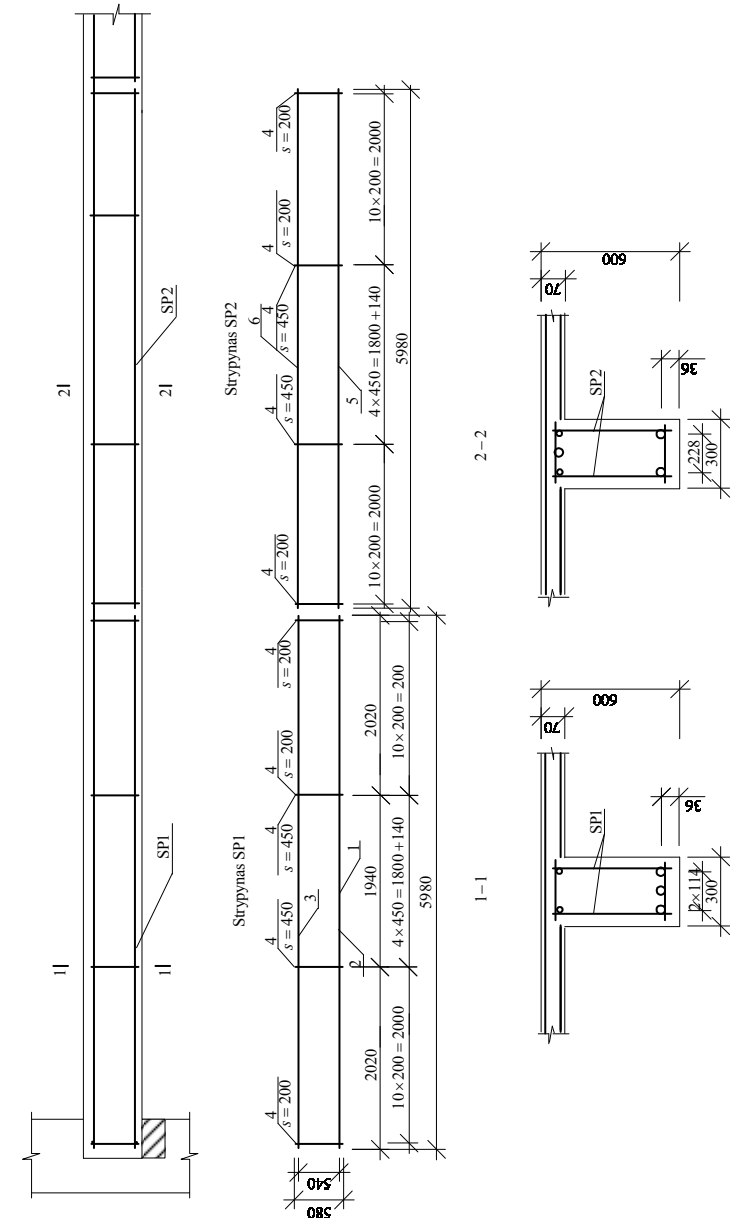
$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,78 = 1,228 \text{ MPa},$$

čia $\eta_1 = 0,7$; $\eta_2 = 1,0$; $f_{ctd} = 0,78$ MPa.

Mažiausias inkaravimo ilgis:

$$\left\{ \begin{aligned} l_{b,\min} &> 0,6 \cdot l_b = 0,6 \cdot 1\,858 = 1\,115 \text{ mm}; \\ l_{b,\min} &> 15 \cdot \varnothing = 15 \cdot 25 = 375 \text{ mm}; \\ l_{b,\min} &> 100 \text{ mm}. \end{aligned} \right.$$

Iš čia mažiausias inkaravimo ilgis $l_{b,\min} = 1\,115$ mm. Atsižvelgiant į skaičiavimo rezultatus, strypų pratęsimo ilgis $l_{bd} = 1\,300$ mm.



38 pav. Pagrindinės sijos armatūros išdėstymo pavyzdys

LITERATŪRA

1. STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos. *Valstybės žinios*, 2003 Nr.59-2683, 2006, Nr.17-621.
2. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. *Valstybės žinios*, 2005, Nr. 17-550.
3. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. Praktinio taikymo vadovas, I dalis. *Valstybės žinios*, 2005, Nr. 98-3711.
4. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. Praktinio taikymo vadovas, II dalis. *Valstybės žinios*, 2006, Nr. 26-872.
5. JOKŪBAITIS, V. ir kt. *Gelžbetoninės ir mūrinės konstrukcijos*. Vilnius: Mokslas, 1992. 292 p.
6. MARČIUKAITIS, G. *Monolitinių betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų statyba*. Vilnius: Technika, 1999. 204 p.

PRIEDAI

1 priedas

Medžiagų vienetiniai svoriai nuolatinei apkrovai apskaičiuoti

Medžiagos pavadinimas	γ , kg/m ³
Sunkusis betonas	2 200–2 400
Smulkiagrūdis betonas	2 000
Cemento ir smėlio skiedinys	1 800–2 000
Gelžbetonis	2 500
Keraminės plytelės	1 700
Keramzitas	300–1 000
Keramzitbetonis	500–1 600
Linoleumas	1 100
Pušies mediena	500–600
Ažuolo mediena	700–800
Medžio pluošto plokštės	250–350
Šlakas	600–1 000
Šlakbetonis	1 000–1 800
Putų polistirolis	40–150
Akmens vata	50–125
Gipsas	1 100–1 250
Granitas	2 800
Marmuras	2 800

Rekomenduojami plokščių storiai, mm

Ap- kro- va	Tarpataimis l , m																	
	daugiaaukšmė plokštė									dviaukšmė plokštė								
	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
2,5																		
3,0																		
3,5			60...	70									60...	70				
4,0					70...	80								70...	80			
4,5								80...	90							80...	90	
5,0																		
6,0										90...	100							100...
7,0																	90...	100
8,0																		
9,0																		110...
10,0																		120

Rekomenduojami sijų skerspjūviai $b \times h$, mm

Aprokva kN/m	Sijos tarpataimis <i>l</i> , m								
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
10,0	100×250	100×300	150×300	150×350	200×350	200×400	200×400	200×450	200×450
12,0	100×300	100×300	150×300	150×350	200×350	200×400	200×450	200×450	200×450
14,0	100×300	150×300	150×350	150×350	200×400	200×400	200×450	200×450	250×500
16,0	150×300	150×300	150×350	150×400	200×400	200×450	200×450	250×500	250×500
18,0	150×300	150×350	200×350	200×400	200×400	200×450	200×450	250×500	250×500
20,0	150×300	150×350	200×350	200×400	200×450	200×450	250×500	250×500	250×550
24,0	150×350	200×350	200×400	200×400	200×450	200×450	250×500	250×500	250×550
28,0	150×350	200×350	200×400	200×450	200×450	250×500	250×500	250×500	250×550
32,0	200×350	200×400	200×400	200×450	250×500	250×500	250×500	250×550	250×600
36,0	200×350	200×400	200×400	200×450	250×500	250×500	250×550	250×550	250×600

Naudojimo apkrovos ir apkrovų galimo patikimumo koeficientas

Skaičiuojant perdangos konstrukcijų įrašas, įvertinamos nuolatinės (g) ir kintamosios (naudojimo) (q) apkrovos. Skaičiuojant įrašas saugos ribiniams būviams nuolatinių apkrovų dalinio patikimumo koeficientai $\gamma_{G,j} = 1,35$, o visų kategorijų kintamųjų (naudojimo) apkrovų – $\gamma_{Q,j} = 1,3$. Skaičiuojant vieno aukšto perdangas arba stogo konstrukciją, naudojimo (kintamąją) apkrovą reikia laikyti laisvuju poveikiu, veikiančiu nepalankiausioje nagrinėjamų įrašų atžvilgiu įtakos zonos dalyje. Vienos kategorijos naudojimo apkrovas, kai apkrovimo plotas didesnis kaip 10 m^2 , galima sumažinti redukcijos koeficientu α_A , atsižvelgiant į atitinkamo elemento laikomus apkrovos plotus.

A–E kategorijos plotams

$$\alpha_A = \frac{5}{7}\psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0.$$

C–D kategorijos plotams

$$\alpha_A \geq 0,6,$$

čia ψ_0 – koeficientas, įvertinantis pastato paskirtį; $A_0 = 10,0 \text{ m}^2$; A – apkrautasis plotas.

Naudojimo apkrovų charakteristinės reikšmės priklauso nuo pastatų plotų kategorijos pagal panaudojimą.

Santykinės gniuždomosios zonos aukščio ξ_{eff} ir dydžio $\mu_{Ed,s}$ reikšmės

ξ_{eff}	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
$\mu_{Ed,s}$	0,01	0,02	0,03	0,039	0,048	0,058	0,067	0,077

ξ_{eff}	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
$\mu_{Ed,s}$	0,085	0,095	0,104	0,113	0,122	0,130	0,139	0,147

ξ_{eff}	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
$\mu_{Ed,s}$	0,155	0,164	0,172	0,180	0,188	0,196	0,203	0,211

ξ_{eff}	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
$\mu_{Ed,s}$	0,219	0,226	0,234	0,241	0,248	0,255	0,262	0,269

ξ_{eff}	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40
$\mu_{Ed,s}$	0,275	0,282	0,289	0,295	0,301	0,309	0,314	0,320

ξ_{eff}	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48
$\mu_{Ed,s}$	0,326	0,332	0,337	0,343	0,349	0,354	0,359	0,365

ξ_{eff}	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56
$\mu_{Ed,s}$	0,370	0,375	0,380	0,385	0,390	0,394	0,399	0,403

Armaturų sortimentas

Skersmuo, mm	Skerspjūvio plotas cm ² , kai strypų skaičius										Masė kg/m
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
3	0,071	0,14	0,21	0,2	0,35	0,42	0,49	0,57	0,64	0,71	0,055 (0,051)
4	0,126	0,25	0,38	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13	1,26	0,098 (0,090)
5	0,196	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	0,154 (0,139)
6	0,283	0,57	0,83	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55	2,83	0,222
7	0,385	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85	0,302
8	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,53	5,03	0,395
10	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,5	6,28	7,07	7,85	0,617
12	1,131	2,26	3,39	4,52	5,67	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31	0,888
14	1,539	3,08	4,62	6,16	7,69	9,23	10,77	12,31	13,85	15,39	1,208
16	2,011	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11	1,578
18	2,545	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45	1,998
20	3,142	6,28	9,41	12,56	15,71	18,85	21,99	25,14	28,25	31,42	2,466
22	3,801	7,6	11,4	15,20	19,00	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01	2,984
25	4,909	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,13	49,09	3,853
28	6,158	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,1	49,26	55,42	61,58	4,834
32	8,042	16,08	24,13	32,17	40,12	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42	6,313
36	10,18	20,36	30,54	40,72	50,9	61,08	71,26	81,44	91,62	101,80	7,99
40	12,56	25,12	37,68	50,24	62,8	75,36	87,92	100,48	113,04	125,60	9,87

Apsauginis betono sluoksnis

Darbo armatūros apsauginis betono sluoksnis turi užtikrinti armatūros ir betono bendrą darbą visose konstrukcijų darbo stadijose, taip pat apsaugoti armatūrą nuo atmosferos, agresyviosios aplinkos, aukštos temperatūros ir panašių poveikių. Darbo armatūros (neįtemptosios ir įtemptosios, įtempiamos į atsparas) apsauginio sluoksnio storis, mm, turi būti ne mažesnis kaip:

- armatūros skersmuo (jei jis neviršija 40 mm);
- užpildo grūdėlio didžiausias matmuo (jei jis mažesnis kaip 32 mm);
- užpildo grūdėlio didžiausias matmuo ir dar + 5 mm (jei jis didesnis kaip 32 mm);
- surenkamuosiuose pamatuose – 30 mm;
- monolitiniuose pamatuose su paruošiamuoju betono sluoksniu – 35 mm;
- monolitiniuose pamatuose be paruošiamojo betono sluoksnio – 70 mm.

Mažiausias atstumas nuo išilginės armatūros strypų paviršiaus iki artimiausio betono paviršiaus (apsauginis betono sluoksnis), atsižvelgiant į naudojimo sąlygų klasę, pateiktas lentelėje.

Mažiausias leistinasis apsauginio betono sluoksnio storis, mm

Armaturų tipai	Naudojimo sąlygų klasės						
	XO	XC1	XC2, XC3, XC4	XD1, XD2, XD3, XF1, XF2, XF3, XF4	XA1	XA2	XA3
Neįtemptoji	20	25	30	40	25	30	40
Iš anksto įtemptoji	20	30	35	50	35	40	50

Lentelėje nurodytą apsauginio betono sluoksnio storį surenkamosioms konstrukcijoms galima sumažinti 5 mm, bet jis turi būti ne mažesnis kaip 20 mm.

Skersinės, paskirstomosios ir konstrukcinės armatūros apsauginio betono sluoksnio storis turi būti ne mažesnis už armatūros skersmenį ir ne mažesnis kaip 15 mm, kai konstrukcija naudojama normaliomis ir mažai agresyviomis sąlygomis, atitinkančiomis XO, XC1, XA1 (žr. lentelę) klases. Didėjant aplinkos agresyvumui, apsauginio betono sluoksnio storį kiekvienai agresyvumo klasei reikia padidinti 5 mm.

Ištisiniai armatūros strypai, tinklai arba strypynai, išdėstyti per visą konstrukcijos ilgį ar plotį tam, kad būtų galima juos netrukdomai sudėti į klojinius, turi būti mažesnių matmenų už konstrukcijos, atsižvelgiant į šios ilgį:

- jei konstrukcijos ilgis 9 m–10 m;
- jei konstrukcijos ilgis iki 12 m–15 m;
- jei konstrukcijos ilgis didesnis nei 12 m–20 m.

Duomenys kontaktiniu būdu virintiems strypynams ir tinklams projektuoti

Išilginių strypų skersmuo, mm	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
Mažiausias skersinių strypų skersmuo, mm	3	3	3	3	3	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10	12	12
Mažiausias atstumas tarp strypų ašių, mm	50	50	50	50	75	75	75	75	75	100	100	100	150	150	150	200	200

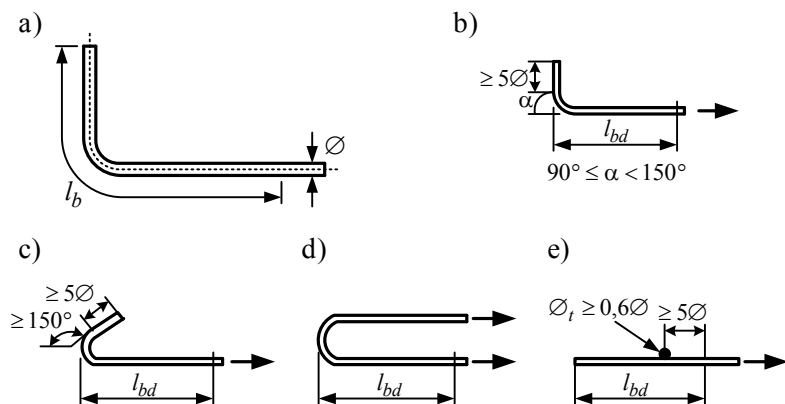
Pastaba. Didžiausias strypyno ir tinklo ilgis 12 m. Strypo laisvojo galo ilgis ne mažesnis kaip 20 mm ir ne mažesnis kaip strypo skersmuo.

Neįtemptosios armatūros inkaravimas

Išilginiai tempiamosios ir gniuždomosios armatūros strypai turi būti užleisti už elemento statmenojo pjūvio, kuriame jų skaičiuotinis stipris visiškai išnaudojamas ilgiu, ne mažesniu už l_{bd} , apskaičiuojamu pagal formulę

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_b \geq l_{b,\min}, \quad (1)$$

čia $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ – koeficientai, kurių reikšmės imamos iš lentelės; l_b – bazinis inkaravimo ilgis, apskaičiuojamas pagal 4 formulę; $l_{b,\min}$ – mažiausias inkaravimo ilgis.



1 pav. Lygios armatūros strypų inkaravimo būdai: a, b – nevysiškai užlenkiant, c – visiškai užlenkiant, d – kilpos formos, e – privirinant skersinį strypą

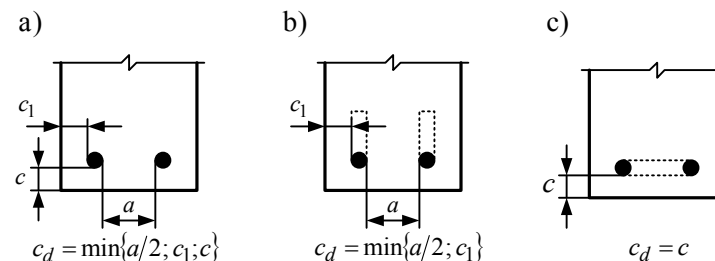
Mažiausias inkaravimo ilgis $l_{b,\min}$ imamas: tempiamiesiems strypams

$$l_{b,\min} > \max\{0,6l_b; 15\varnothing; 100 \text{ mm}\}, \quad (2)$$

gniuždomiesiems strypams

$$l_{b,\min} > \max\{0,3l_b; 15\varnothing; 100 \text{ mm}\}. \quad (3)$$

Rumbuotosios armatūros strypams formulėje (1) koeficientų sandauga $\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \geq 0,7$.



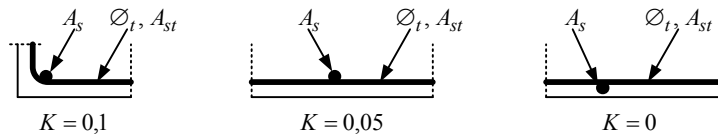
2 pav. Apsauginio sluoksnio skaičiuotinis storis c_d : a – lygiesiems strypams; b – atlenktiesiems strypams ir kabliams; c – kilpoms

Koeficientų $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ir α_5 reikšmės

Veiksniai	Inkaravimo sąlygos	Armatūra	
		tempiamoji	gniuždomoji
Strypo forma	tiesusis	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	kitoks (1 pav., b, c, d) (2 pav.)	$\alpha_1 = 0,7$, kai $c_d > 3\varnothing$ $\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
Apsauginis sluoksnis	lygusis	$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - \varnothing)/\varnothing$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	rumbuotasis (1 pav., b, c, d) (2 pav.)	$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - 3\varnothing)/\varnothing$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$

lentelės pabaiga

Skersinė ar- matūra nepri- virinta prie išilginės	Visų tipų	$\alpha_3 = 1 - K \lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Skersinė ar- matūra privi- rinta prie išil- ginės	Visų tipų, padė- čių ir dydžių, kaip nurodyta 1 pav., e	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Esant skersi- niam apspau- dimui	Visų tipų	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	–
$\lambda = (\sum A_{sw} - \sum A_{sw, \min}) / A_s$; $\sum A_{sw}$ – skersinių strypų skaičiuotiniame inkaravimo ilgyje l_{bd} suminis skerspjuvio plotas; $\sum A_{sw, \min}$ – mažiausias skersinių strypų skerspjuvio plotas, imamas lygus $0,25A_s$ sijoms ir 0 – plokštėms; A_s – vieno inkaruojančiojo strypo didesnio skersmens skerspjuvio plotas; p – slėgis (MPa), veikiantis statmenai inkariniam strypui ir inkaravimosi ilgiu l_{bd} ; c_d – skaičiuotinio apsauginio sluoksnio storio reikšmė, imama iš 2 pav.; K – reikšmės pateiktos 3 pav.			



3 pav. Koeficiento K reikšmės sijoms ir plokštėms

Bazinis inkaravimo ilgis l_b apskaičiuojamas taip:

$$l_b = \frac{\sigma_{sd}}{4 f_{bd}}, \quad (4)$$

čia σ_{sd} – skaičiuotiniai armatūros įtempiai; f_{bd} – armatūros ir be-
tono sąlyčio sankibos ribiniai įtempiai, nustatomi pagal formulę

$$f_{cd} = 2,25\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}, \quad (5)$$

čia f_{ctd} – skaičiuotinis betono tempiamasis stipris (kai $\gamma_c = 1,5$).

$$f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} / \gamma_c.$$

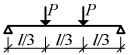
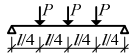
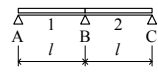
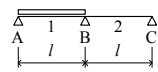
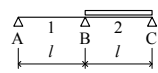
Betonams, kurių $f_{ck} > 55$ MPa, skaičiuotinį stiprį f_{ctd} imti
kaip betonui $f_{ck} = 55$ MPa. η_1 – koeficientas, įvertinantis armatū-
ros padėtį betonavimo metu ir sukibimo sąlygas, $\eta_1 = 0,7$; η_2 – koe-
ficientas, įvertinantis strypo skersmens įtaką, imamas:

kai $\varnothing \leq 32$ mm, $\eta_2 = 1,0$;

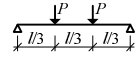
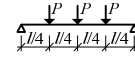
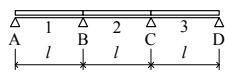
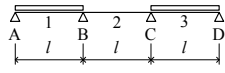
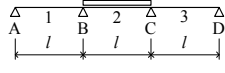
kai $\varnothing > 32$ mm, $\eta_2 = \frac{(132 - \varnothing)}{100}$.

9 priedas

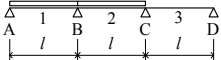
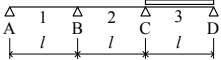
1 lentelė. Nekarpytų sijų lekiamieji momentai

Apkrovų išdėstymo schema	Lenkimo momentai	Tarpatramio apkrovimo schema	
			
1	2	3	4
Dviejų tarpatramių sija			
	M_{11}	$0,222 \cdot Pl$	$0,258 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,111 \cdot Pl$	$0,266 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,023 \cdot Pl$
	M_B	$-0,333 \cdot Pl$	$-0,469 \cdot Pl$
	M_{21}	$0,111 \cdot Pl$	$0,023 \cdot Pl$
	M_{22}	$0,222 \cdot Pl$	$0,266 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$0,258 \cdot Pl$
	M_{11}	$0,278 \cdot Pl$	$0,316 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,222 \cdot Pl$	$0,383 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,200 \cdot Pl$
	M_B	$-0,167 \cdot Pl$	$-0,234 \cdot Pl$
	M_{21}	$-0,111 \cdot Pl$	$-0,176 \cdot Pl$
	M_{22}	$-0,056 \cdot Pl$	$-0,117 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$-0,059 \cdot Pl$
	M_{11}	$-0,056 \cdot Pl$	$-0,059 \cdot Pl$
	M_{12}	$-0,111 \cdot Pl$	$-0,117 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$-0,176 \cdot Pl$
	M_B	$-0,167 \cdot Pl$	$-0,234 \cdot Pl$
	M_{21}	$0,222 \cdot Pl$	$0,200 \cdot Pl$
	M_{22}	$0,278 \cdot Pl$	$0,383 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$0,316 \cdot Pl$

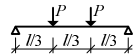
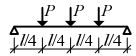
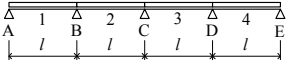
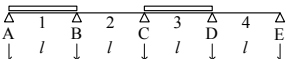
1 lentelės tęsinys

Apkrovų išdėstymo schema	Lenkimo momentai	Tarpatramių apkrovimo schema	
			
1	2	3	4
Trijų tarpatramių sija			
	M_{11}	$0,244 \cdot Pl$	$0,281 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,156 \cdot Pl$	$0,313 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,094 \cdot Pl$
	M_B	$-0,267 \cdot Pl$	$-0,375 \cdot Pl$
	M_{21}	$0,067 \cdot Pl$	$0,000 \cdot Pl$
	M_{22}	$0,067 \cdot Pl$	$0,125 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$0,000 \cdot Pl$
	M_C	$-0,267 \cdot Pl$	$-0,375 \cdot Pl$
	M_{31}	$0,156 \cdot Pl$	$0,094 \cdot Pl$
	M_{32}	$0,244 \cdot Pl$	$0,313 \cdot Pl$
	M_{33}	–	$0,281 \cdot Pl$
	M_{11}	$0,289 \cdot Pl$	$0,328 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,244 \cdot Pl$	$0,406 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,234 \cdot Pl$
	M_B	$-0,133 \cdot Pl$	$-0,188 \cdot Pl$
	M_{21}	$-0,133 \cdot Pl$	$-0,188 \cdot Pl$
	M_{22}	$-0,133 \cdot Pl$	$-0,188 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$-0,188 \cdot Pl$
	M_C	$-0,133 \cdot Pl$	$-0,188 \cdot Pl$
	M_{31}	$0,244 \cdot Pl$	$0,234 \cdot Pl$
	M_{32}	$0,289 \cdot Pl$	$0,406 \cdot Pl$
	M_{33}	–	$0,328 \cdot Pl$
	M_{11}	$-0,044 \cdot Pl$	$-0,047 \cdot Pl$
	M_{12}	$-0,089 \cdot Pl$	$-0,094 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$-0,141 \cdot Pl$
	M_B	$-0,133 \cdot Pl$	$-0,188 \cdot Pl$
	M_{21}	$0,200 \cdot Pl$	$0,188 \cdot Pl$
	M_{22}	$0,200 \cdot Pl$	$0,313 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$0,188 \cdot Pl$
	M_C	$-0,133 \cdot Pl$	$-0,188 \cdot Pl$
	M_{31}	$-0,089 \cdot Pl$	$-0,141 \cdot Pl$
	M_{32}	$-0,044 \cdot Pl$	$-0,094 \cdot Pl$
	M_{33}	–	$-0,047 \cdot Pl$

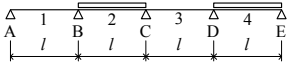
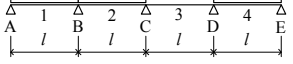
1 lentelės tęsinys

1	2	3	4
	M_{11}	$0,230 \cdot Pl$	$0,266 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,126 \cdot Pl$	$0,281 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,047 \cdot Pl$
	M_B	$-0,311 \cdot Pl$	$-0,438 \cdot Pl$
	M_{21}	$0,096 \cdot Pl$	$0,016 \cdot Pl$
	M_{22}	$0,171 \cdot Pl$	$0,219 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$0,172 \cdot Pl$
	M_C	$-0,089 \cdot Pl$	$-0,125 \cdot Pl$
	M_{31}	$-0,059 \cdot Pl$	$-0,094 \cdot Pl$
	M_{32}	$-0,030 \cdot Pl$	$-0,063 \cdot Pl$
	M_{11}	$0,015 \cdot Pl$	$0,016 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,030 \cdot Pl$	$0,031 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,047 \cdot Pl$
	M_B	$0,044 \cdot Pl$	$0,063 \cdot Pl$
	M_{21}	$-0,030 \cdot Pl$	$-0,016 \cdot Pl$
	M_{22}	$-0,104 \cdot Pl$	$-0,094 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$-0,172 \cdot Pl$
	M_C	$-0,178 \cdot Pl$	$-0,250 \cdot Pl$
	M_{31}	$0,215 \cdot Pl$	$0,188 \cdot Pl$
	M_{32}	$0,274 \cdot Pl$	$0,375 \cdot Pl$
	M_{33}	–	$0,313 \cdot Pl$

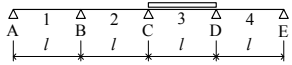
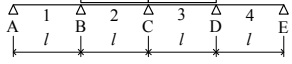
1 lentelės tęsinys

Aprovo išdėstymo schema	Lenkimo momentai	Tarpatramių apkrovimo schema	
			
1	2	3	4
Keturių tarpatramių sija			
	M_{11}	$0,238 \cdot Pl$	$0,275 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,143 \cdot Pl$	$0,299 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,074 \cdot Pl$
	M_B	$-0,286 \cdot Pl$	$-0,402 \cdot Pl$
	M_{21}	$0,079 \cdot Pl$	$0,007 \cdot Pl$
	M_{22}	$0,111 \cdot Pl$	$0,165 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$0,074 \cdot Pl$
	M_C	$-0,190 \cdot Pl$	$-0,268 \cdot Pl$
	M_{31}	$0,111 \cdot Pl$	$0,074 \cdot Pl$
	M_{32}	$0,079 \cdot Pl$	$0,165 \cdot Pl$
	M_{33}	–	$0,007 \cdot Pl$
	M_D	$-0,286 \cdot Pl$	$-0,402 \cdot Pl$
	M_{41}	$0,143 \cdot Pl$	$0,074 \cdot Pl$
	M_{42}	$0,238 \cdot Pl$	$0,299 \cdot Pl$
	M_{43}	–	$0,275 \cdot Pl$
	M_{11}	$0,286 \cdot Pl$	$0,325 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,238 \cdot Pl$	$0,400 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,224 \cdot Pl$
	M_B	$-0,143 \cdot Pl$	$-0,201 \cdot Pl$
	M_{21}	$-0,127 \cdot Pl$	$-0,184 \cdot Pl$
	M_{22}	$-0,111 \cdot Pl$	$-0,167 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$-0,151 \cdot Pl$
	M_C	$-0,095 \cdot Pl$	$-0,134 \cdot Pl$
	M_{31}	$0,222 \cdot Pl$	$0,224 \cdot Pl$
	M_{32}	$0,206 \cdot Pl$	$0,333 \cdot Pl$
	M_{33}	$-0,143 \cdot Pl$	$0,191 \cdot Pl$
	M_D	–	$-0,201 \cdot Pl$
	M_{41}	$-0,095 \cdot Pl$	$-0,151 \cdot Pl$
	M_{42}	$-0,048 \cdot Pl$	$-0,100 \cdot Pl$
	M_{43}	–	$-0,050 \cdot Pl$

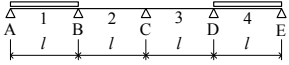
1 lentelės tęsinys

1	2	3	4
	M_{11}	$-0,048 \cdot Pl$	$-0,050 \cdot Pl$
	M_{12}	$-0,095 \cdot Pl$	$-0,100 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$-0,151 \cdot Pl$
	M_B	$-0,143 \cdot Pl$	$-0,201 \cdot Pl$
	M_{21}	$0,206 \cdot Pl$	$0,191 \cdot Pl$
	M_{22}	$0,222 \cdot Pl$	$0,333 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$0,224 \cdot Pl$
	M_C	$-0,095 \cdot Pl$	$-0,134 \cdot Pl$
	M_{31}	$-0,111 \cdot Pl$	$-0,151 \cdot Pl$
	M_{32}	$-0,127 \cdot Pl$	$-0,167 \cdot Pl$
	M_{33}	–	$-0,184 \cdot Pl$
	M_D	$-0,143 \cdot Pl$	$-0,201 \cdot Pl$
	M_{41}	$0,238 \cdot Pl$	$0,224 \cdot Pl$
	M_{42}	$0,286 \cdot Pl$	$0,400 \cdot Pl$
	M_{43}	–	$0,325 \cdot Pl$
	M_{11}	$0,266 \cdot Pl$	$0,262 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,119 \cdot Pl$	$0,274 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,036 \cdot Pl$
	M_B	$-0,321 \cdot Pl$	$-0,552 \cdot Pl$
	M_{21}	$0,103 \cdot Pl$	$0,019 \cdot Pl$
	M_{22}	$0,195 \cdot Pl$	$0,241 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$0,212 \cdot Pl$
	M_C	$-0,048 \cdot Pl$	$-0,067 \cdot Pl$
	M_{31}	$-0,083 \cdot Pl$	$-0,105 \cdot Pl$
	M_{32}	$-0,119 \cdot Pl$	$-0,142 \cdot Pl$
	M_{33}	–	$-0,180 \cdot Pl$
	M_D	$-0,155 \cdot Pl$	$-0,218 \cdot Pl$
	M_{41}	$0,230 \cdot Pl$	$0,212 \cdot Pl$
	M_{42}	$0,282 \cdot Pl$	$0,391 \cdot Pl$
	M_{43}	–	$0,321 \cdot Pl$

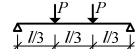
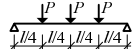
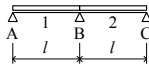
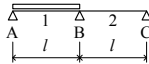
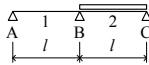
1 lentelės tęsinys

1	2	3	4
	M_{11}	$0,019 \cdot Pl$	$0,013 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,024 \cdot Pl$	$0,025 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,038 \cdot Pl$
	M_B	$0,036 \cdot Pl$	$0,050 \cdot Pl$
	M_{21}	$-0,024 \cdot Pl$	$-0,013 \cdot Pl$
	M_{22}	$-0,083 \cdot Pl$	$-0,075 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$-0,138 \cdot Pl$
	M_C	$-0,143 \cdot Pl$	$-0,201 \cdot Pl$
	M_{31}	$0,194 \cdot Pl$	$0,178 \cdot Pl$
	M_{32}	$0,199 \cdot Pl$	$0,308 \cdot Pl$
	M_{33}	–	$0,188 \cdot Pl$
	M_D	$-0,131 \cdot Pl$	$-0,184 \cdot Pl$
	M_{41}	$-0,087 \cdot Pl$	$-0,138 \cdot Pl$
	M_{42}	$-0,044 \cdot Pl$	$-0,092 \cdot Pl$
	M_{43}	–	$-0,046 \cdot Pl$
	M_{11}	$-0,032 \cdot Pl$	$-0,034 \cdot Pl$
	M_{12}	$-0,064 \cdot Pl$	$-0,067 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$-0,100 \cdot Pl$
	M_B	$-0,095 \cdot Pl$	$-0,134 \cdot Pl$
	M_{21}	$0,175 \cdot Pl$	$0,174 \cdot Pl$
	M_{22}	$0,112 \cdot Pl$	$0,232 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$0,040 \cdot Pl$
	M_C	$-0,286 \cdot Pl$	$-0,402 \cdot Pl$
	M_{31}	$0,112 \cdot Pl$	$0,040 \cdot Pl$
	M_{32}	$0,175 \cdot Pl$	$0,232 \cdot Pl$
	M_{33}	–	$0,174 \cdot Pl$
	M_D	$-0,095 \cdot Pl$	$-0,134 \cdot Pl$
	M_{41}	$-0,064 \cdot Pl$	$-0,100 \cdot Pl$
	M_{42}	$-0,032 \cdot Pl$	$-0,067 \cdot Pl$
	M_{43}	–	$-0,034 \cdot Pl$

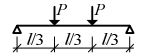
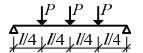
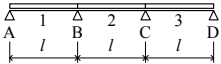
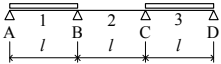
1 lentelės pabaiga

1	2	3	4
	M_{11}	$0,270 \cdot Pl$	$0,308 \cdot Pl$
	M_{12}	$0,206 \cdot Pl$	$0,366 \cdot Pl$
	M_{13}	–	$0,174 \cdot Pl$
	M_B	$-0,190 \cdot Pl$	$-0,268 \cdot Pl$
	M_{21}	$-0,095 \cdot Pl$	$-0,167 \cdot Pl$
	M_{22}	$-0,002 \cdot Pl$	$-0,067 \cdot Pl$
	M_{23}	–	$0,034 \cdot Pl$
	M_C	$0,095 \cdot Pl$	$0,134 \cdot Pl$
	M_{31}	$-0,002 \cdot Pl$	$0,034 \cdot Pl$
	M_{32}	$0,095 \cdot Pl$	$-0,067 \cdot Pl$
	M_{33}	–	$-0,167 \cdot Pl$
	M_D	$0,190 \cdot Pl$	$-0,268 \cdot Pl$
	M_{41}	$0,206 \cdot Pl$	$0,174 \cdot Pl$
	M_{42}	$0,270 \cdot Pl$	$0,366 \cdot Pl$
	M_{43}	–	$0,308 \cdot Pl$

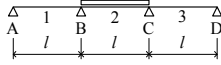
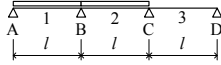
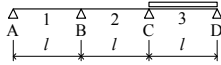
2 lentelė. Nekarpytų sijų skersinės jėgos

Apkrovų išdėstymo schema	Skersinės jėgos	Tarpatramių apkrovimo schema	
			
Dviejų tarpatramių sija			
	V_1	$0,667 \cdot P$	$1,031 \cdot P$
	V_2	$-0,333 \cdot P$	$0,031 \cdot P$
	V_3	$-1,333 \cdot P$	$-0,969 \cdot P$
	V_4	$1,333 \cdot P$	$-1,969 \cdot P$
	V_5	$0,333 \cdot P$	$1,969 \cdot P$
	V_6	$-0,667 \cdot P$	$0,969 \cdot P$
	V_7	–	$-0,031 \cdot P$
	V_8	–	$-1,031 \cdot P$
	V_1	$0,833 \cdot P$	$1,266 \cdot P$
	V_2	$-0,167 \cdot P$	$0,266 \cdot P$
	V_3	$-1,167 \cdot P$	$-0,734 \cdot P$
	V_4	$0,167 \cdot P$	$-1,734 \cdot P$
	V_5	$0,167 \cdot P$	$0,234 \cdot P$
	V_6	$0,167 \cdot P$	$0,234 \cdot P$
	V_7	–	$0,234 \cdot P$
	V_8	–	$0,234 \cdot P$
	V_1	$-0,167 \cdot P$	$-0,234 \cdot P$
	V_2	$-0,167 \cdot P$	$-0,234 \cdot P$
	V_3	$-0,167 \cdot P$	$-0,234 \cdot P$
	V_4	$1,167 \cdot P$	$-0,234 \cdot P$
	V_5	$0,167 \cdot P$	$1,734 \cdot P$
	V_6	$-0,833 \cdot P$	$0,734 \cdot P$
	V_7	–	$-0,266 \cdot P$
	V_8	–	$-1,266 \cdot P$

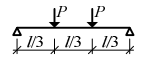
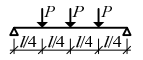
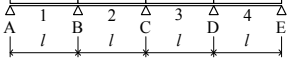
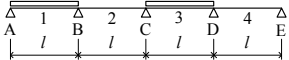
2 lentelės tęsinys

Apkrovų išdėstymo schema	Skersinės jėgos	Tarpatramių apkrovimo schema	
			
1	2	3	4
Trijų tarpatramių sija			
	V_1	$0,734 \cdot P$	$1,125 \cdot P$
	V_2	$-0,267 \cdot P$	$0,125 \cdot P$
	V_3	$-1,267 \cdot P$	$-0,875 \cdot P$
	V_4	$1,000 \cdot P$	$-1,875 \cdot P$
	V_5	$0,000 \cdot P$	$1,500 \cdot P$
	V_6	$-1,000 \cdot P$	$0,500 \cdot P$
	V_7	$1,267 \cdot P$	$-0,500 \cdot P$
	V_8	$0,267 \cdot P$	$-1,500 \cdot P$
	V_9	$-0,734 \cdot P$	$1,875 \cdot P$
	V_{10}	–	$0,875 \cdot P$
	V_{11}	–	$-0,125 \cdot P$
	V_{12}	–	$-1,125 \cdot P$
	V_1	$0,867 \cdot P$	$1,313 \cdot P$
	V_2	$-0,133 \cdot P$	$0,313 \cdot P$
	V_3	$-1,133 \cdot P$	$-0,688 \cdot P$
	V_4	$0,000 \cdot P$	$-1,688 \cdot P$
	V_5	$0,000 \cdot P$	$0,000 \cdot P$
	V_6	$0,000 \cdot P$	$0,000 \cdot P$
	V_7	$1,133 \cdot P$	$0,000 \cdot P$
	V_8	$0,133 \cdot P$	$0,000 \cdot P$
	V_9	$-0,867 \cdot P$	$1,688 \cdot P$
	V_{10}	–	$0,688 \cdot P$
	V_{11}	–	$-0,313 \cdot P$
	V_{12}	–	$-1,313 \cdot P$

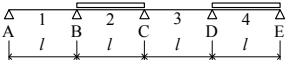
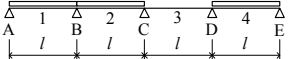
2 lentelės tęsinys

1	2	3	4
	V_1	$-0,133 \cdot P$	$-0,188 \cdot P$
	V_2	$-0,133 \cdot P$	$-0,188 \cdot P$
	V_3	$-0,133 \cdot P$	$-0,188 \cdot P$
	V_4	$1,000 \cdot P$	$-0,188 \cdot P$
	V_5	$0,000 \cdot P$	$1,500 \cdot P$
	V_6	$-1,000 \cdot P$	$0,500 \cdot P$
	V_7	$0,133 \cdot P$	$-0,500 \cdot P$
	V_8	$0,133 \cdot P$	$-1,500 \cdot P$
	V_9	$0,133 \cdot P$	$0,188 \cdot P$
	V_{10}	–	$0,188 \cdot P$
	V_{11}	–	$0,188 \cdot P$
	V_{12}	–	$0,188 \cdot P$
	V_1	$0,689 \cdot P$	$1,063 \cdot P$
	V_2	$-0,311 \cdot P$	$0,063 \cdot P$
	V_3	$-1,311 \cdot P$	$-0,938 \cdot P$
	V_4	$1,222 \cdot P$	$-1,938 \cdot P$
	V_5	$0,222 \cdot P$	$1,813 \cdot P$
	V_6	$-0,778 \cdot P$	$0,813 \cdot P$
	V_7	$0,089 \cdot P$	$-0,188 \cdot P$
	V_8	$0,089 \cdot P$	$-1,188 \cdot P$
	V_9	$0,089 \cdot P$	$0,125 \cdot P$
	V_{10}	–	$0,125 \cdot P$
	V_{11}	–	$0,125 \cdot P$
	V_{12}	–	$0,125 \cdot P$
	V_1	$0,044 \cdot P$	$0,063 \cdot P$
	V_2	$0,044 \cdot P$	$0,063 \cdot P$
	V_3	$0,044 \cdot P$	$0,063 \cdot P$
	V_4	$-0,222 \cdot P$	$0,063 \cdot P$
	V_5	$-0,222 \cdot P$	$-0,313 \cdot P$
	V_6	$-0,222 \cdot P$	$-0,313 \cdot P$
	V_7	$1,178 \cdot P$	$-0,313 \cdot P$
	V_8	$0,178 \cdot P$	$-0,313 \cdot P$
	V_9	$-0,822 \cdot P$	$1,750 \cdot P$
	V_{10}	–	$0,750 \cdot P$
	V_{11}	–	$-0,250 \cdot P$
	V_{12}	–	$-1,250 \cdot P$

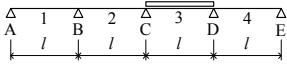
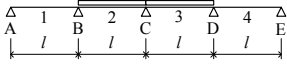
2 lentelės tęsinys

Apkrovų išdėstymo schema	Skersinės jėgos	Tarpatramių apkrovimo schema	
			
1	2	3	4
Keturių tarpatramių sija			
	V_1	$0,714 \cdot P$	$1,098 \cdot P$
	V_2	$-0,286 \cdot P$	$0,098 \cdot P$
	V_3	$-1,286 \cdot P$	$-0,902 \cdot P$
	V_4	$1,095 \cdot P$	$-1,902 \cdot P$
	V_5	$0,095 \cdot P$	$1,634 \cdot P$
	V_6	$-0,905 \cdot P$	$0,634 \cdot P$
	V_7	$0,905 \cdot P$	$-0,366 \cdot P$
	V_8	$-0,095 \cdot P$	$-1,366 \cdot P$
	V_9	$-1,095 \cdot P$	$1,366 \cdot P$
	V_{10}	$1,286 \cdot P$	$0,366 \cdot P$
	V_{11}	$0,286 \cdot P$	$-0,634 \cdot P$
	V_{12}	$-0,714 \cdot P$	$-1,634 \cdot P$
	V_{13}	–	$1,902 \cdot P$
	V_{14}	–	$0,902 \cdot P$
	V_{15}	–	$-0,098 \cdot P$
	V_{16}	–	$-1,098 \cdot P$
	V_1	$0,857 \cdot P$	$1,299 \cdot P$
	V_2	$-0,143 \cdot P$	$0,299 \cdot P$
	V_3	$-1,143 \cdot P$	$-0,701 \cdot P$
	V_4	$0,048 \cdot P$	$-1,701 \cdot P$
	V_5	$0,048 \cdot P$	$0,067 \cdot P$
	V_6	$0,048 \cdot P$	$0,067 \cdot P$
	V_7	$0,952 \cdot P$	$0,067 \cdot P$
	V_8	$-0,048 \cdot P$	$0,067 \cdot P$
	V_9	$-1,048 \cdot P$	$1,433 \cdot P$
	V_{10}	$0,143 \cdot P$	$0,433 \cdot P$
	V_{11}	$0,143 \cdot P$	$-0,567 \cdot P$
	V_{12}	$0,143 \cdot P$	$-1,567 \cdot P$
	V_{13}	–	$0,201 \cdot P$
	V_{14}	–	$0,201 \cdot P$
	V_{15}	–	$0,201 \cdot P$
	V_{16}	–	$0,201 \cdot P$

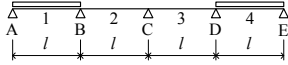
2 lentelės tęsinys

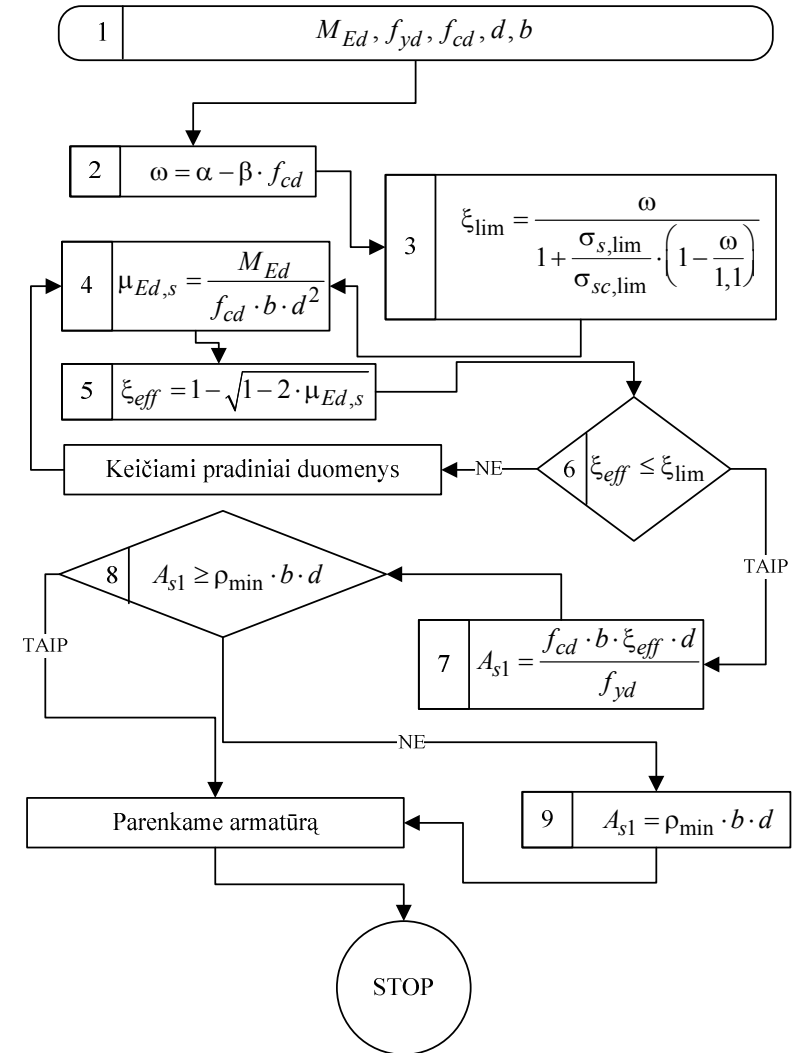
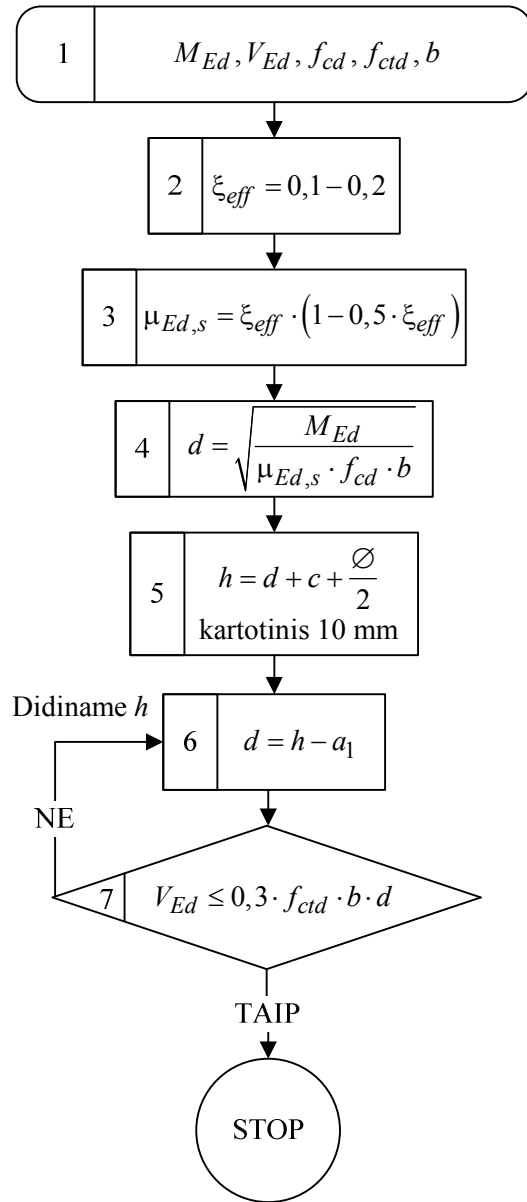
	V_1	$-0,143 \cdot P$	$-0,201 \cdot P$
	V_2	$-0,143 \cdot P$	$-0,201 \cdot P$
	V_3	$-0,143 \cdot P$	$-0,201 \cdot P$
	V_4	$1,043 \cdot P$	$-0,201 \cdot P$
	V_5	$0,043 \cdot P$	$1,567 \cdot P$
	V_6	$-0,952 \cdot P$	$0,567 \cdot P$
	V_7	$-0,043 \cdot P$	$-0,433 \cdot P$
	V_8	$-0,043 \cdot P$	$-1,433 \cdot P$
	V_9	$-0,043 \cdot P$	$-0,067 \cdot P$
	V_{10}	$1,143 \cdot P$	$-0,067 \cdot P$
	V_{11}	$0,143 \cdot P$	$-0,067 \cdot P$
	V_{12}	$-0,857 \cdot P$	$-0,067 \cdot P$
	V_{13}	–	$1,701 \cdot P$
	V_{14}	–	$0,701 \cdot P$
	V_{15}	–	$-0,299 \cdot P$
	V_{16}	–	$-1,299 \cdot P$
	V_1	$0,679 \cdot P$	$1,048 \cdot P$
	V_2	$-0,321 \cdot P$	$0,048 \cdot P$
	V_3	$-1,321 \cdot P$	$-0,952 \cdot P$
	V_4	$1,274 \cdot P$	$-1,952 \cdot P$
	V_5	$0,274 \cdot P$	$1,885 \cdot P$
	V_6	$-0,726 \cdot P$	$0,885 \cdot P$
	V_7	$-0,107 \cdot P$	$-0,115 \cdot P$
	V_8	$-0,107 \cdot P$	$-1,115 \cdot P$
	V_9	$-0,107 \cdot P$	$-0,151 \cdot P$
	V_{10}	$1,155 \cdot P$	$-0,151 \cdot P$
	V_{11}	$0,155 \cdot P$	$-0,151 \cdot P$
	V_{12}	$-0,845 \cdot P$	$-0,151 \cdot P$
	V_{13}	–	$1,718 \cdot P$
	V_{14}	–	$0,718 \cdot P$
	V_{15}	–	$-0,282 \cdot P$
	V_{16}	–	$-1,282 \cdot P$

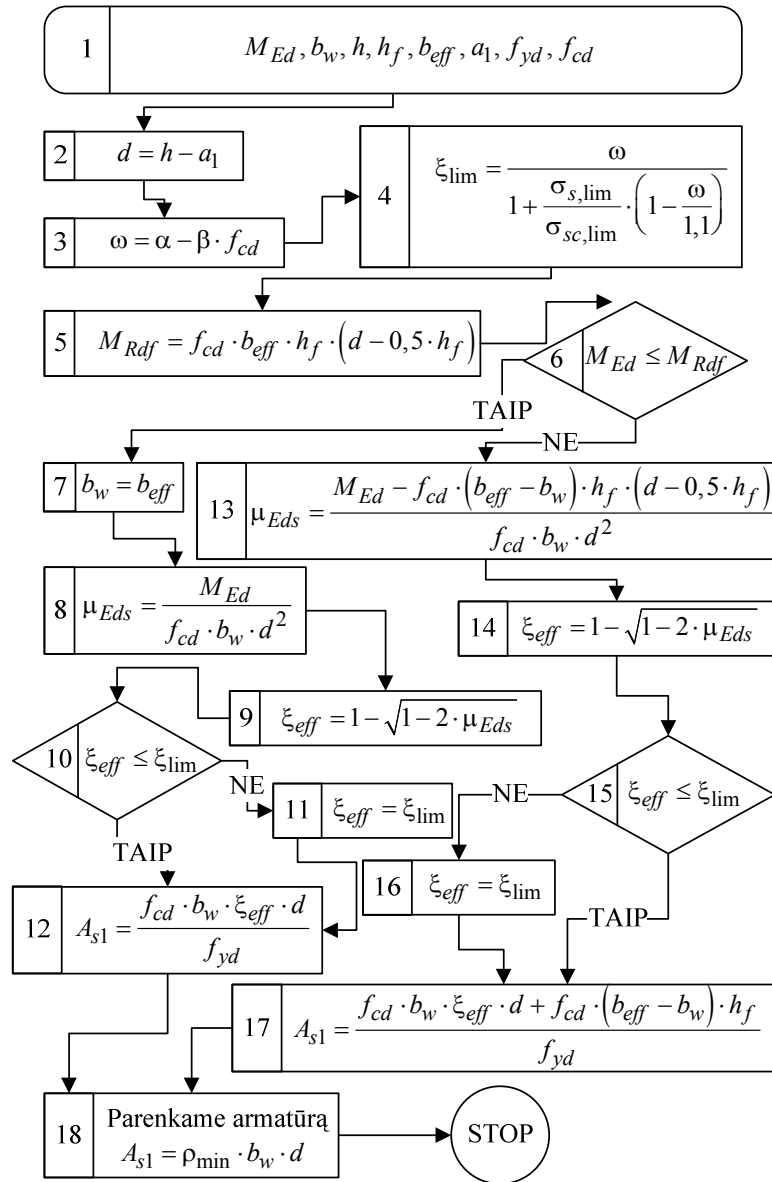
2 lentelės tęsinys

1	2	3	4
	V_1	$0,036 \cdot P$	$0,050 \cdot P$
	V_2	$0,036 \cdot P$	$0,050 \cdot P$
	V_3	$0,036 \cdot P$	$0,050 \cdot P$
	V_4	$-0,179 \cdot P$	$0,050 \cdot P$
	V_5	$-0,179 \cdot P$	$-0,251 \cdot P$
	V_6	$-0,179 \cdot P$	$-0,251 \cdot P$
	V_7	$1,012 \cdot P$	$-0,251 \cdot P$
	V_8	$0,012 \cdot P$	$-0,251 \cdot P$
	V_9	$-0,988 \cdot P$	$1,517 \cdot P$
	V_{10}	$0,131 \cdot P$	$0,517 \cdot P$
	V_{11}	$0,131 \cdot P$	$-0,483 \cdot P$
	V_{12}	$0,131 \cdot P$	$-1,483 \cdot P$
	V_{13}	–	$0,184 \cdot P$
	V_{14}	–	$0,184 \cdot P$
	V_{15}	–	$0,184 \cdot P$
	V_{16}	–	$0,184 \cdot P$
	V_1	$-0,095 \cdot P$	$-0,134 \cdot P$
	V_2	$-0,095 \cdot P$	$-0,134 \cdot P$
	V_3	$-0,095 \cdot P$	$-0,134 \cdot P$
	V_4	$0,810 \cdot P$	$-0,134 \cdot P$
	V_5	$-0,190 \cdot P$	$1,232 \cdot P$
	V_6	$-1,190 \cdot P$	$0,232 \cdot P$
	V_7	$1,190 \cdot P$	$-0,768 \cdot P$
	V_8	$0,190 \cdot P$	$-1,768 \cdot P$
	V_9	$-0,810 \cdot P$	$1,768 \cdot P$
	V_{10}	$0,095 \cdot P$	$0,768 \cdot P$
	V_{11}	$0,095 \cdot P$	$-0,232 \cdot P$
	V_{12}	$0,095 \cdot P$	$-1,232 \cdot P$
	V_{13}	–	$0,134 \cdot P$
	V_{14}	–	$0,134 \cdot P$
	V_{15}	–	$0,134 \cdot P$
	V_{16}	–	$0,134 \cdot P$

2 lentelės pabaiga

1	2	3	4
	V_1	$0,810 \cdot P$	$1,232 \cdot P$
	V_2	$-0,190 \cdot P$	$0,232 \cdot P$
	V_3	$-1,190 \cdot P$	$-0,768 \cdot P$
	V_4	$0,286 \cdot P$	$-1,768 \cdot P$
	V_5	$0,286 \cdot P$	$0,402 \cdot P$
	V_6	$0,286 \cdot P$	$0,402 \cdot P$
	V_7	$-0,286 \cdot P$	$0,402 \cdot P$
	V_8	$-0,286 \cdot P$	$0,402 \cdot P$
	V_9	$-0,286 \cdot P$	$-0,402 \cdot P$
	V_{10}	$1,190 \cdot P$	$-0,402 \cdot P$
	V_{11}	$0,190 \cdot P$	$-0,402 \cdot P$
	V_{12}	$-0,810 \cdot P$	$-0,402 \cdot P$
	V_{13}	–	$1,768 \cdot P$
	V_{14}	–	$0,768 \cdot P$
	V_{15}	–	$-0,232 \cdot P$
	V_{16}	–	$-1,232 \cdot P$





Juozas Valivonis, Arnoldas Šneideris
Gelžbetoninės sijinės monolitinės perdangos
 Mokomoji knyga

Redagavo Laima Kertenienė

2007-03-15. 8,5 sp. l. Tiražas 200 egz.
 Vilniaus Gedimino technikos universiteto
 leidykla „Technika“, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius
 Spausdino UAB „Biznio mašinų kompanija“
 J. Jasinskio g. 16A, 01112 Vilnius